

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-326370

(43)Date of publication of application : 10.12.1993

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

(21)Application number : 04-186673

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 14.07.1992

(72)Inventor :
INOUE SOICHI
FUJISAWA TADAHITO
SATO TAKASHI
TAMAMUSHI SHUICHI
HORIOKA KEIJI

(30)Priority

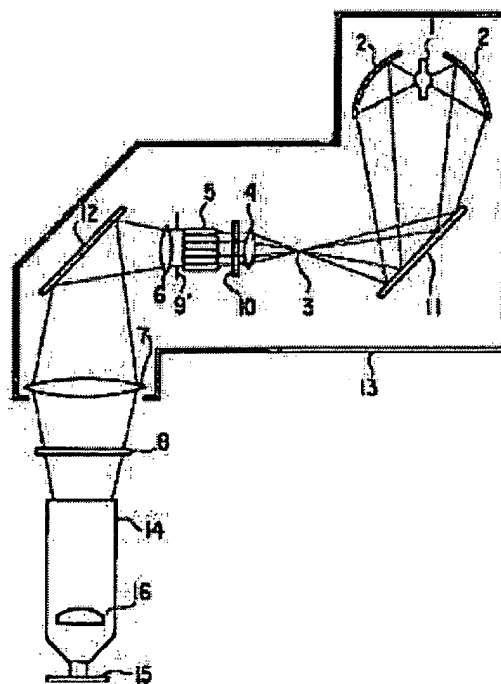
Priority number : 04 70617 Priority date : 27.03.1992 Priority country : JP

(54) PROJECTION ALIGNER

(57)Abstract:

PURPOSE: To sufficiently increase the depth of focus of the title aligner even when the size of an L/S pattern is large and to enhance the exposure accuracy of the title aligner.

CONSTITUTION: In a projection aligner, a pattern on a mask is projected and exposed onto a wafer via a projection optical system. In the projection aligner, a special diaphragm 9' (a four port filter) by means of which the distribution of the intensity inside a radiation face of a light source is symmetric, four times, with respect to an optical axis and which makes the intensity large in four regions outside the optical axis is installed as a secondary light source with which the mask R is irradiated, and a pattern by using a semitransparent film is formed on a lighttransmitting substrate. Then, the following halftone mask is used: the phase difference between light transmitted through the semitransparent film and light transmitted through the light-transmitting substrate satisfies the relationship of $180 \times (2n+1) \pm 30^\circ$ [where (n) is an integer]; and the amplitude transmission factor of the semitransparent film satisfies the relationship of $0.01 \times T_0 \leq T \leq 0.30 \times T_0$ with reference to the amplitude transmission factor of the light-transmitting substrate.



* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]In a projection aligner which carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, To an optic axis, in four fields from which it separated from an optic axis, as a light source which illuminates said mask, it is symmetrical with 4 times, and cheat with intensity size out of intensity distribution within a projection surface of this light source, and as said mask, Phase contrast over light which passes a translucency board of light which a pattern of a semi-transparent membrane is formed on a translucency board, and passes this semi-transparent membrane, A projection aligner, wherein $180 \times (2n+1) \times 30$ (degree):n uses that which fills a relation of integer ** and with which the amplitude transmittance T of a semi-transparent membrane fills $0.01 \times T_0 \leq T \leq 0.30 \times T_0$ to the amplitude transmittance T_0 of a translucency board.

[Claim 2]In a projection aligner which carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, To an optic axis, in four fields from which it separated from an optic axis, as a light source which illuminates said mask, it is symmetrical with 4 times, and cheat with intensity size out of intensity distribution within a projection surface of this light source, and as said mask, A pattern is formed with a shading film on a translucency board, and a translucency film is allocated in a portion except the circumference or the circumference of a pattern by this light-shielding film, A projection aligner with which phase contrast over light which passes a translucency board of light which passes this translucency film is characterized by $180 \times (2n+1) \times 30$ (degree):n using what fills a relation of integer **.

[Claim 3]In a projection aligner which carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, To an optic axis, in four fields from which it separated from an optic axis, as a light source which illuminates said mask, it is symmetrical with 4 times, and cheat with intensity size out of intensity distribution within a projection surface of this light source, and as said mask, A projection aligner with which phase contrast over light which passes a translucency board of light which a pattern is formed in part at least with a translucency film on a translucency board, and passes a pattern by this translucent membrane is characterized by $180 \times (2n+1) \times 30$ (degree):n using what fills a relation of integer **.

[Claim 4]In a projection aligner which carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, As a light source which illuminates said mask, to an optic axis, it is symmetrical with 4 times, and cheats out of intensity distribution within a projection surface of this light source with intensity size in four fields from which it separated from an optic axis, A projection aligner having arranged a substrate which has the translucency over exposing light to a pupil posion of said projection optical system, and giving distribution to it at thickness or a refractive index of this board.

[Claim 5]In a projection aligner transferred on a wafer, a pattern which was provided with the following and formed in a mask said special diaphragm, Four fields out of which it cheats with intensity size in four fields which the center of a schematic illustration form was on a concentric circle centering on an optic axis, and were symmetrical with 4 times and separated from intensity distribution within a surface of light source from an optic axis to an optic axis and where a radius vector direction is comparatively large, A projection aligner being what consists of a field which combines these four fields, and where a radius vector direction is comparatively narrow.

The 1st condensing optical system that condenses light from a light source.

An equalization optical system which equalizes light condensed by this 1st condensing optical system.

A special diaphragm provided in a surface-of-light-source position by the side of outgoing radiation of this equalization optical system.

The 2nd condensing optical system that condenses light obtained via this special diaphragm and with which a mask is irradiated, and a projection optical system which projects on a wafer light which penetrated a mask.

[Claim 6]In a projection aligner which carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, As a light source which illuminates said mask, it is symmetrical with 4 times, and make intensity distribution within a projection surface of this light source into intensity size to an optic axis, in four fields from which it separated from an optic axis, and make intensity of a center section of a light source large, and as said mask, Phase contrast over light which passes a translucency board of light which a pattern of a semi-transparent membrane is formed on a translucency board, and passes this semi-transparent membrane, A projection aligner, wherein $180 \times (2n+1) \times 30$ (degree):n uses that which fills a relation of integer ** and with which the amplitude transmittance T of a semi-transparent membrane fills $0.01 \times T_0 \leq T \leq 0.30 \times T_0$ to the amplitude transmittance T_0 of a translucency board.

[Claim 7]In a projection aligner which carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, As a light source which illuminates said mask, it is symmetrical with 4 times, and make intensity distribution within a projection surface of this light source into intensity size to an optic axis, in four fields from which it separated from an optic axis, and make intensity of a center section of a light source large, and as said mask, A pattern is formed with a shading film on a translucency board, and a translucency film is allocated in a portion except the circumference or the circumference of a pattern by this light-shielding film, A projection aligner with which phase contrast over light which passes a translucency board of light which passes this translucency film is characterized by $180 \times (2n+1) \times 30$ (degree):n using what fills a relation of integer **.

[Claim 8]In a projection aligner which carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical

system, As a light source which illuminates said mask, it is symmetrical with 4 times, make intensity distribution within a projection surface of this light source into intensity size to an optic axis, in four fields from which it separated from an optic axis, and make large intensity of a center section of a secondary light source, and as said mask, A projection aligner with which phase contrast over light which passes a translucency board of light which a pattern is formed in part at least with a translucency film on a translucency board, and passes a pattern by this translucent membrane is characterized by $180 \times (2n+1) \times 30(\text{degree}) : n$ using what fills a relation of integer **.

[Claim 9] In a projection aligner which carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, Intensity distribution of a light source which illuminates said mask is made into intensity size in two symmetrical fields on both sides of one field or an optic axis which separated from an optic axis, A projection aligner considering it as transmissivity size along a diametral direction of a pupil including a field which serves as intensity size of said light source on this pupil in transmissivity distribution of a pupil of said projection optical system, and carrying out synchronous rotation a center [an optic axis] while exposing intensity distribution of said light source, and transmissivity distribution of said pupil.

[Claim 10] In a projection aligner which carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, To an optic axis, it is symmetrical with 4 times, and intensity distribution of a light source which illuminates said mask is made into intensity size in four fields from which it separated from an optic axis, A projection aligner considering it as transmissivity size in a rectangular side direction or a diagonal direction which consists of four fields which serve as intensity size of said light source on this pupil, and carrying out synchronous rotation of the transmissivity distribution of a pupil of said projection optical system a center [an optic axis] while exposing intensity distribution of said light source, and transmissivity distribution of said pupil.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the projection aligner for forming the detailed resist pattern which manufacture of Integrated Circuit Sub-Division takes.

[0002]

[Description of the Prior Art] In recent years, progress of optical lithography technology was remarkable and a possibility that a 0.5-micrometer rule would also be realizable came out in the projection aligner of g line (436 nm) or i line (365 nm). This is because high NA-ization of the lens progressed [highly efficient-ization of the projection aligner, and] especially. However, it is a question whether a next-generation 0.3-micrometer rule can also be attained by old extension. Although resolution improves by a raise in NA of a lens, and the short wavelength formation of exposing light, since the depth of focus falls, usable resolution seldom improves. Therefore, development of the improvement technology of the depth of focus is desired.

[0003] The outline composition of the projection aligner generally used conventionally is shown in drawing 23. In this figure, an elliptic reflecting mirror and 3 the lamp with which 1 consists of mercury-vapor lamps, and 2 The 2nd focus of the elliptic reflecting mirror 2, An input lens and 5 4 An optical integrator (eye lens to obtain), 6 an output lens and 7 a collimation lens and 8 A reticle (mask). The filter for letting only the light of the wavelength which the aperture diaphragm as a uniform diaphragm is made 9 and to which aberration compensation of the optical system is carried out 10 pass. It is the diaphragm as which the projection optical system which projects 11, the cold mirror which 12 bends an optical path and makes the height of equipment low, and 13 on a lamp house, and to which 14 projects the image of the pattern on the reticle 8 on a wafer with a lens, a mirror, or its combination, and 15 determine a wafer, and 16 determines a numerical aperture.

[0004] Although a large number also besides having been shown in drawing 23, the basic constitution of the conventional projection aligner is arranged in order of the light source 1, the 1st condensing optical system 18, the equalization optical system 19, the 2nd condensing optical system 20, the reticle 8, the projection optical system 14, and the wafer 15, as typically shown in drawing 24 (a). The 1st condensing optical system 18 is a portion which is equivalent to the elliptic reflecting mirror 2 and the input lens 4 in the example of drawing 23.

A spherical mirror besides an elliptic mirror, a plane mirror, a lens, etc. are arranged suitably, and it has a duty which puts as efficiently as possible the light flux which comes out of a light source into the equalization optical system 19.

The equalization optical system 19 is a portion equivalent to the optical integrator 5 of drawing 23, and an optical fiber, a polyhedral prism, etc. may be used as others.

[0005] The 2nd condensing optical system 20 is a portion equivalent to the output lens 6 and the collimation lens 7 of drawing 23. The emitted light of the equalization optical system 19 is made to superimpose, and image surface tele centric nature is secured further.

In addition, the reflector which the filter equivalent to the filter 10 of drawing 23 is inserted in a part with the light flux near optic-axis parallel, and is equivalent to the cold mirrors 11 and 12 is also inserted although a place is not the most important.

[0006] When the side by which light comes from the reticle 8 in the equipment constituted in this way is seen, the character of light turns into character of the light which comes out from the equalization optical system 19 through the 2nd condensing optical system 20, and the outgoing radiation side of the equalization optical system 19 sees it, and it is visible to the upper light source. For this reason, in the above composition, generally, outgoing radiation side 24 of the equalization optical system 19 is called the secondary light source. When the reticle 8 is projected on the wafer 15, the formation characteristic, i.e., the resolution, the depth of focus, etc. of a projection exposure pattern are decided by the description of the light which irradiates with the numerical aperture and the reticle 8 of the projection optical system 14, i.e., the description of the secondary light source 24.

[0007] Drawing 24 (b) is an explanatory view about the reticle illumination light in the projection aligner shown in the figure (a), and an image formation beam of light. In drawing 24 (b), the projection optical system 14 has the aperture diaphragm 16 inside usual, regulates angle theta which the light which passed along the reticle 8 may pass, and it has determined the angle theta of the beam of light which carries out an incident light on the wafer 15.

[0008] Generally, what is called the numerical aperture NA of the projection optical system is an angle defined by $NA = \sin \theta$.

When projecting magnification is set to $1/m$, it has a relation of $\sin \theta = m \sin \theta_a$.

moreover — in this kind of equipment — “ — usually the chief ray which falls to image surface tele centric”, i.e., the image surface, is constituted at right angles to the image surface — this — “, in order to fulfill the conditions of image surface tele centric”. Image formation of the real image of the emission face of the equalization optical system 19 of drawing 24 (a), i.e., the surface of light source of the secondary light source 24, is carried out to the position of the aperture diaphragm 16.

[0009] The light which enters into the reticle 8 carries out the range of the solid angle when a secondary surface of light source is seen through the 2nd condensing optical system 20 from the reticle 8 under such conditions, and it is caught, When the half width was set to ϕ and $\sigma = \sin \phi / \sin \theta_a$ defined the coherency sigma of the illumination light, I thought that the pattern formation characteristic was determined by NA and sigma.

[0010]Next, the relation of NA and sigma, and the pattern formation characteristic is explained in detail. Resolution goes up so that NA is large, but the depth of focus becomes shallow, and since it is the aberration of the projection optical system 14, reservation of an extensive exposure region becomes difficult. Since it cannot use for uses, such as actual LSI manufacture, if there is none of a certain amount of exposure regions and depths of focus (for example, 10 mm squares, ≈ 1 micrometer), with conventional equipment, about $NA=0.35$ is a limit. On the other hand, a sigma value mainly participates in resolution with sectional shape and correlation with regards to pattern sectional shape and the depth of focus. Since the deep pool of a pattern will be emphasized if a sigma value becomes small, a side attachment wall approaches vertically, and sectional shape turns into good pattern shape, but the focus range which the definition in a fine pattern worsens and can resolve becomes narrow. On the contrary, if a sigma value is large, the definition in a fine pattern and the focus range which can be resolved will become good a little, but the side-attachment-wall inclination of a pattern section is loose, and when it is a thick resist, sectional shape serves as a trapezoid thru/or a triangle.

[0011]For this reason, in the conventional projection aligner, as a sigma value which maintained balance comparatively, fixed setting out is carried out $\sigma=0.5 - 0.7$, and the conditions of the $\sigma=0.3$ grade are only tried experimentally. In order for what is necessary to be just to decide the size of the surface of light source of the secondary light source 24 to set up a sigma value, generally the circular opening diaphragm 9 for sigma value setting out is placed just behind the surface of light source of the secondary light source 24.

[0012]As one method of raising the depth of focus of such a common projection aligner, The example using the special diaphragm which has a special opening pattern instead of the circular opening diaphragm 9 is proposed (the mechanical test in "research [of a microscope object lens] (10th news)" 1957 by Ukita and Tsujiuchi some places news, the 11th volume, No. 2, p9-). When the filter shown in drawing 25 (a) is used for a thing characteristic in this, the direction which connects two light transmission areas is that having very high resolution performance to the last shipment pattern arranged in perpendicularly is described.

[0013]The filter which has four openings as this modification on the other hand as shown in drawing 25 (b). (4th filter is called hereafter) is proposed (the Japanese Patent Publication No. 56 No. -9010 gazette), and the projection exposure using 4th filter of this form, At the 52nd Japan Society of Applied Physics academic lecture meeting in October, 1991, "reduced-projection-exposure method (I), (II) using a modification light source" (lecture number 12 a-ZF-3 and 12 a-ZF-4) were entitled by Kamon, Miyamoto, etc., and it was announced. According to this, being obtained by the high resolution performance to last shipment doubling a right-angled direction not only with one way but with it is shown.

[0014]Drawing 26 shows the result of having usually carried out the simulation of the transfer property in Lighting Sub-Division to the case where it illuminates with this 4th filter. As for the horizontal axis, the ratio of a line and a space shows the depth of focus (DOF), as for the last shipment pattern size of 1:1, and a vertical axis. NA of an exposure wavelength of 365 nm (i line) and a projection optical system is 0.55. The resist resolvable by not less than 70% of image contrast is assumed. in such a last shipment pattern — last shipment — < — near last shipment=0.4 micrometer, the resolution by 4th Lighting Sub-Division and a depth-of-focus improved effect are usually especially remarkable 0.65 micrometer compared with Lighting Sub-Division. However, in last shipment>=0.65micrometer, the direction of the depth of focus in Lighting Sub-Division will usually become large compared with 4th Lighting Sub-Division conversely.

[0015]In particular, the depth of focus near last shipment=0.7 micrometer is getting worse. The eye of 4th filter is located and it depends for this characteristic on a size. While the depth of focus of such small last shipment that the interval of eyes separates improves, the tendency for the fall of the depth of focus in big last shipment to become remarkable becomes remarkable. A tendency only whose depth of focus of the last shipment pattern of specific size improves is shown, so that eyes are small. Thus, although there are some differences with the position of the eye of 4th filter, and a size, an overall tendency is as being shown in drawing 26.

[0016]although the above-mentioned explanation came out about the last shipment pattern, at the time of isolated omission pattern formation (at the time of positive-resist use), 4th filter is an opposite effect rather and it turned out that DOF decreases. The minimum omission line width which can secure the depth of focus of 1.5 micrometers will be set to 0.45 micrometer by exposure by 4th Lighting Sub-Division to being usually 0.4 micrometer in exposure. That is, in performing exposure by 4th Lighting Sub-Division, it means that it is necessary to design an isolated omission pattern at 0.45 micrometers or more to the ability to design the last shipment pattern of 1:1 at 0.29 micrometer. In a actual LSI pattern, it extracts and line width is close to a design rule, and although there are few typical isolated omission patterns [as / whose both sides are resists over several micrometers], there are dramatically many patterns with a ratio of a space small to a line. In the case of such an isolated omission pattern what is called, the line width which can secure the depth of focus of not less than 1.5 micrometers becomes large, and it has big influence on the shrink of a chip.

[0017]In 4th exposure using 4th filter, good resolution performance was not obtained to the pattern arranged in addition to the 2-way which intersects perpendicularly mutually, but it turned out that the fall of resolution performance is remarkable about the pattern arranged especially in the direction of 45 degrees. The characteristic shown in drawing 26 is a case of a relation as 4th filter and the direction of last shipment show to drawing 27. When 4th filter and the direction of last shipment have the directivity of 45 degrees to a relation like drawing 28, i.e., last shipment, a result [like] is obtained as shown in drawing 29. In this case, in transfer with 4th Lighting Sub-Division, compared with Lighting Sub-Division, the depth of focus will usually worsen.

[0018]

[Problem to be solved by the invention]Thus, compared with exposure by the usual circular secondary light source, resolution and a depth-of-focus improved effect are remarkable at last shipment<0.65micrometer in the exposure using 4th filter conventionally. However, in last shipment>=0.65micrometer, the direction of the depth of focus in Lighting Sub-Division will usually become large compared with 4th Lighting Sub-Division conversely. In particular, the depth of focus will be set to about 1.5 micrometers near last shipment=0.7 micrometer. For this reason, when the big depth of focus transfers a required layer, the pattern near last shipment=0.7 micrometer is not transferred good. That is, near last shipment=0.4 micrometer, in spite of having the depth of focus of about 2.5 micrometers, there is a problem in which transfer property carries out rate-limiting with the pattern of bigger size.

[0019]When the filter which penetrates light like 4th filter only at four specific places was used as a Lighting Sub-Division filter, there was a problem that a big difference arose in resolution performance by the direction of a pattern.

[0020]Although the depth of focus and resolution of last shipment improve in the above-mentioned conventional example, on the other hand in an isolated omission pattern, the depth of focus and resolution decrease. This shows that it is necessary to design with thick line width, so that the linewidth to the space width of a pattern is wide. Since many patterns with a wide linewidth to a space

exist, they cannot connect the large depth-of-focus enhancement effect by 4th Lighting Sub-Division with a actual LSI pattern to the shrink of a chip size.

[0021] This invention was made in consideration of the above-mentioned situation, when a place made into the purpose is [the size of a last shipment pattern] large, even if there is, the depth of focus can be enlarged enough, and it is in providing the projection aligner which can aim at improvement in exposure precision. Other purposes of this invention are not depended in the direction of a pattern, but there are in providing the projection aligner which can enlarge the depth of focus enough.

[0022] Another purpose of this invention is to provide the projection aligner which an isolated omission pattern or an isolated omission pattern with a linewidth wide to space width can extract, can design line width more finely, and, as a result, attains shrink with a large chip size.

[0023]

[Means for solving problem] To achieve the above objects, the following composition is adopted in this invention.

[0024] Namely, in the projection aligner with which this invention (Claims 1-3) carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, The special diaphragm which cheats out of the intensity distribution within a projection surface of this light source with intensity size to an optic axis as a light source which illuminates a mask in four fields which were symmetrical with 4 times and, from which it separated from the optic axis is established, It is considered as the feature using the half-tone mask, the self-align type phase shift mask, or the shifter edge type phase shift mask as a mask. With a half-tone mask, the pattern of a semi-transparent membrane is formed on a translucency board here, The phase contrast over the light which passes the translucency board of the light which passes this semi-transparent membrane fills the relation of integer **, and, as for $180 \times (2n+1) \times 30(\text{degree}) : n$, the amplitude transmittance T of a semi-transparent membrane fills $0.01 \times T_0 \leq T \leq 0.30 \times T_0$ to the amplitude transmittance T_0 of a translucency board.

[0025] With a self-align type phase shift mask, a pattern is formed with a shading film on a translucency board, A translucency film is allocated in the portion except the circumference or the circumference of a pattern by this light-shielding film, and, as for $180 \times (2n+1) \times 30(\text{degree}) : n$, the phase contrast over the light which passes the translucency board of the light which passes this translucency film fills the relation of integer **.

[0026] With a shifter edge type phase shift mask, a pattern is formed in part at least with a translucency film on a translucency board, As for $180 \times (2n+1) \times 30(\text{degree}) : n$, the phase contrast over the light which passes the translucency board of the light which passes the pattern by this translucent membrane fills the relation of integer **.

[0027] In the projection aligner with which this invention (Claim 4) carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, The special diaphragm which cheats out of the intensity distribution within a projection surface of this light source with intensity size to an optic axis as a light source which illuminates a mask in four fields which were symmetrical with 4 times and, from which it separated from the optic axis is established, The substrate which furthermore has the translucency over exposing light in the pupil position of a projection optical system has been arranged, and distribution was given to the thickness or the refractive index of this board.

[0028] Here, in the substrate arranged to the pupil position of a projection optical system, it is desirable to change the thickness or the refractive index of a substrate equivalent to the periphery of a pupil to other portions. It is more desirable to use said half-tone mask, a self-align type phase shift mask, or a shifter edge type phase shift mask in addition to the above-mentioned composition.

[0029] The 1st condensing optical system in which this invention (Claim 5) condenses the light from a light source, The equalization optical system which equalizes the light condensed by this 1st condensing optical system, and the special diaphragm provided in the surface-of-light-source position by the side of outgoing radiation of this equalization optical system, In the projection aligner which transfers on a wafer the pattern which possessed the 2nd condensing optical system that condenses the light obtained via this special diaphragm, and with which a mask is irradiated, and the projection optical system which projects on a wafer the light which penetrated the mask, and was formed in the mask, Four fields out of which it cheats with intensity size in four fields which the center of the schematic illustration form was on the concentric circle centering on an optic axis as composition of a special diaphragm, and were symmetrical with 4 times and separated from the intensity distribution within a surface of light source from the optic axis to the optic axis and where a radius vector direction is comparatively large, It constituted so that it might have a field which combines these four fields and where a radius vector direction is comparatively narrow.

[0030] In the projection aligner with which this invention (Claims 6-8) carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, Establish the special diaphragm which made intensity size intensity distribution within a projection surface of this light source to the optic axis as a light source which illuminates a mask in four fields which were symmetrical with 4 times, and from which it separated from the optic axis, and made intensity of the center section of a light source large, and as a mask, It is considered as the feature using a half-tone mask, a self-align type phase shift mask, or a shifter edge type phase shift mask.

[0031] In the projection aligner with which this invention (Claim 9) carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, Intensity distribution of the light source which illuminates a mask is made into intensity size in two symmetrical fields on both sides of one field or optic axis which separated from the optic axis, It is considered as transmissivity size along the diametral direction of a pupil including the field which serves as intensity size of a light source on this pupil in the transmissivity distribution of the pupil of a projection optical system, and while exposing the intensity distribution of a light source, and the transmissivity distribution of a pupil, synchronous rotation is carried out a center [an optic axis].

[0032] In the projection aligner with which this invention (Claim 10) carries out projection exposure of the pattern of a mask on a wafer via a projection optical system, To an optic axis, it is symmetrical with 4 times, and intensity distribution of the light source which illuminates a mask is made into intensity size in four fields from which it separated from the optic axis, It is considered as transmissivity size in the rectangular side direction or diagonal direction which consists of four fields which serve as intensity size of a light source on this pupil, and while exposing the intensity distribution of a light source, and the transmissivity distribution of a pupil, synchronous rotation of the transmissivity distribution of the pupil of a projection optical system is carried out a center [an optic axis].

[0033]

[Function] According to this invention (Claims 1-3), it is point symmetry to an optic axis as light-source-intensity distribution, And in

size, the intensity in four fields from which it separated from the optic axis when carrying out pattern transfer with the becoming lighting, by using a half-tone mask, a self-align type phase shift mask, a shifter edge type phase shift mask, etc., It is possible to enlarge further the DOF improved effect of the last shipment pattern of all the sizes. If 4th filter was only used as a light source, there is a tendency for the depth of focus of a large last shipment pattern to become small relatively compared with small last shipment, like the case where the usual Cr mask is used, but. The depth of focus as an absolute value can be raised by having used the various above-mentioned phase shift masks.

[0034]According to this invention (Claim 4), use 4th filter as a light source, and. By arranging the substrate which has translucency to exposing light in the pupil position of a projection optical system, and changing the thickness or the refractive index of a substrate equivalent to the periphery of this pupil to other portions, it cannot be dependent on pattern size and the big depth of focus and a marginal resolution improved effect can be acquired. In addition, it is possible to use a half-tone mask and a phase shift mask for a mask, and to enlarge the above-mentioned effect more by things.

[0035]According to this invention (Claim 5), the special diaphragm as a light source has the composition of two kinds of filters of a zona-orbicularis Lighting Sub-Division filter and 4th Lighting Sub-Division filter. As a result, both fault negates each other, even the level which is satisfactory practically can reduce pattern size and the dependency of a direction, and high resolution performance and a depth-of-focus improved effect are acquired.

[0036]Like [according to this invention (Claims 6-8)] the Claims 1-3 mentioned above, as light-source-intensity distribution, In size, the intensity in four fields from which it separated from point symmetry and an optic axis to the optic axis in addition to the depth of focus of the last shipment pattern in the case of transferring with the becoming lighting, and a marginal resolution improved effect, by enlarging light source intensity near the center of a light source. The depth of focus and resolution over an isolated omission pattern can also be raised. As a result, it becomes possible to attain shrink with a large chip size.

[0037]By according to this invention (Claim 9, 10), allocating in the light source position of an exposure device the filter which has an aperture in the position which carried out eccentricity from the optic axis, and cheating with the illumination-light study system which illuminates a mask from across, The high order diffracted light of the long last shipment pattern of an eccentric direction and a right-angled direction goes into a projection optical system, and resolution improves. Here, since actual LSI has various directivity, the high order diffracted light generated from patterns other than the above-mentioned direction does not go into a pupil, and its definition does not improve. Therefore, the diffracted light generated from patterns other than the above-mentioned direction is positively cut for allocating in a pupil position the slit which doubled the eccentric direction of this filter with the longitudinal direction. The pattern directivity dependency of resolution is cancelable by exposing this slit and this filter, carrying out synchronous rotation 360 degrees by setting the axis of rotation as an optic axis.

[0038]It is possible to have the same resolution as the above-mentioned exposure method, and to make exposure time into a half by using the filter which carries out eccentricity from an optic axis, and has every one a total of two apertures in a symmetrical position mutually to an optic axis as a filter allocated in a light source position. As a filter allocated in a light source position, to an optic axis, it is symmetrical with 4 times, and intensity size and the filter out of which it cheats are used in four fields from which it separated from the optic axis. It is possible to have the almost same resolution as the above-mentioned exposure method, and to shorten exposure time further by using for the pupil position of a projection optical system transmissivity size and the slit filter out of which it cheats, for example in the shape of parallel crosses.

[0039]

[Working example]Hereafter, the embodiment of a graphic display of the details of this invention explains.

[0040]Drawing 1 is an outline block diagram showing the projection aligner concerning the 1st embodiment of this invention. In drawing 1, 1 a lamp (light source) and 2 an elliptic reflecting mirror and 3 The 2nd focus of the elliptic reflecting mirror 2, 4 an input lens and 5 an optical integrator and 6 An output lens, The special diaphragm to which 7 has a collimation lens and, as for 8, a reticle and 9' have distribution in transmissivity, It is the diaphragm as which 10 determines the projection optical system which 13 projects a filter, and 11 and 12 on a cold mirror, and projects it on a lamp house, and to which 14 projects the image of the pattern on the reticle 8 on a wafer with a lens, a mirror, or its combination, 15 determines a wafer, and 16 determines a numerical aperture, and is called the pupil. It is a filter which has distribution in light path length.

[0041]A mercury-vapor lamp is used as the lamp 1 of a light source, and the continuous spectrum of such luminescent line [such as 436 nm of g lines, 405 nm of h lines, and 365 nm of i lines,] or wavelength neighborhood is taken out and used. For this reason, while high luminosity is required for the lamp 1 of a light source, when condensing efficiency and exposure homogeneity are considered, its direction near the point light source is good. however, the lamp 1 which moreover has distribution in intensity in a limited size actually since such an ideal light source does not exist — not using it — it does not obtain but it becomes SUBJECT how the light emitted from such a lamp 1 is changed into a good light of exposure homogeneity efficient.

[0042]In the equipment shown in drawing 1, the lamp 1 is put on the 1st focus of the elliptic reflecting mirror 2, and light flux is once collected near [2nd focal 3] the elliptic reflecting mirror 2. And light flux is mostly changed to a parallel pencil with the input lens 4 which shares a focal position with the 2nd focus 3 mostly, and it puts into the optical integrator 5. The optical integrator 5 is what bundled many rod-like lenses, and is also called the eye lens of a fly. the mole cricket of the beam of light with which letting this optical integrator 5 pass is the main factor which improves exposure homogeneity, and the input lens 4 passes along the optical integrator 5 — the duty which lessens ** and raises condensing efficiency is made.

[0043]The light which came out of the optical integrator 5 is condensed so that the light flux which came out of each small lens of the optical integrator 5 may be overlapped on the reticle 8 and it may hit with the output lens 6 and the collimation lens 7. Although the beam of light which entered into the optical integrator 5 has the intensity distribution by a place, as a result of being superimposed on the light which comes out of each small lens of the optical integrator 5 almost equally, it becomes almost uniform [irradiation intensity] on the reticle 8. If the luminous-intensity distribution which enters into the optical integrator 5 with a natural thing is uniformly near, the illuminance distribution of the reticle 8 on which emitted light was made to superimpose will become homogeneity more. Special diaphragm 9' mentioned later has been arranged, and the outgoing radiation side size of the optical integrator 5 is decided to be the outgoing radiation side of the optical integrator 5.

[0044]When condensing with the elliptic reflecting mirror 2, using a mercury-vapor lamp as the lamp 1, as the structure of a mercury-vapor lamp shows drawing 1, it is longwise, and since both ends serve as an electrode, the beam of light of the shaft orientations of

the lamp 1 cannot be taken out. Therefore, as shown in drawing 1, by request, the luminous-intensity distribution included in the central part of the optical integrator 5 may fall as the input lens 4 using a convex lens. Then, the conical lens of both convex or plano-convex piece concave may be inserted between the input lens 4 and the optical integrator 5, and luminous-intensity distribution included in the optical integrator 5 may be made more uniform.

[0045]The filter 10 is for an optical system to let only the light of the wavelength by which aberration compensation is carried out pass, and the cold mirrors 11 and 12 bend an optical path, and make the height of equipment low, and they bear the duty which make penetrate a long-wavelength-light heat ray, and the portion of the lamp house 13 which can be cooled is made to absorb. The light which irradiated with the reticle 8 passes along the projection optical system 14, and projection exposure transfer of the image of the minute pattern on the reticle 8 is carried out at the resist on the wafer 15.

[0046]Drawing 2 is a top view showing the opening pattern of the 4th filter 20 as special diaphragm 9' used with this example equipment. In this figure, a slash part shows the shade part 23, and to the optic axis 21, the four circular opening parts (light transmission section) 22 are symmetrical with 4 times, and are arranged at the position [optic axis] shifted, respectively. The half-tone mask mentioned later was used as the mask 8.

[0047]The result of having calculated the focus margin to the pattern size in exposure with 4th filter in this example is shown in drawing 3. When a dotted line usually transfers the usual Cr mask with Lighting Sub-Division (sigma value 0.6), they are exposure when a solid line uses the usual Cr mask with 4th Lighting Sub-Division, and exposure when an alternate long and short dash line performs 4th Lighting Sub-Division and uses a half-tone mask further (this example). 0.55 and the exposure wave lambda of NA of an exposure device are 365 nm.

[0048]By performing 4th Lighting Sub-Division, and also using a half-tone mask shows that the depth of focus in all the line width is improving uniformly. Although it is the same as the case where the usual Cr mask is used, about having the maximum depth of focus near last shipment=0.4 micrometer, and the depth of focus serving as the minimum near last shipment=0.7 micrometer. Since the depth of focus as an absolute value is improving, practically sufficient depth of focus is obtained also in the pattern with big last shipment size.

[0049]Drawing 4 - drawing 6 are the figures for explaining the mask 8 used with this example equipment. The typical section structure of the half-tone mask was shown in drawing 4 (a), optical amplitude distribution was shown in drawing 4 (b), and light intensity distribution was shown in drawing 4 (c). The LSI pattern is formed of the film [that a half-tone mask is translucent to exposing light on the translucency board 30 (usually SiO₂) (1% <= amplitude transmittance <= 30%)] 31. As for the thickness of the semi-transparent membrane 31, $180 \times (2n+1) \text{ degree} \times 30(\%) \cdot n$ is [the phase of the transmitted light 32 of this film] an integer to the phase of the substrate transmitted light 33, [0050]It is controlled to fill *****. B which diffracts the substrate transmitted light 33 on a wafer, spreads, and is shown in drawing 4 (b) — on a wafer, although it becomes a profile [like], since the light 32 which penetrates the semi-transparent membrane 31 serves as an opposite phase (profile A), it interferes in it, it is weakened mutually and raises image contrast (profile C).

[0051]in the above-mentioned embodiment, when the half-tone mask was exposed with 4ths Lighting Sub-Division filter, it was shown that an effect is large, but even if it uses a self-align type phase shift mask, other phase shift masks, for example, shifter edge type phase shift mask, a big effect arises similarly. The typical section structure of the shifter edge type phase shift mask was shown in drawing 5. As for the shifter edge type phase shift mask, the LSI pattern is formed with the transparent substance 34 (SiO₂) to exposing light on the translucency board 30 (usually SiO₂). As for the thickness of this transparent membrane 34, $180 \times (2n+1) \text{ degree} \times 30(\%) \cdot n$ is [the phase of the transmitted light 35] an integer to the phase of the substrate transmitted light 33, [0052]It is controlled to fill *****. On a wafer, since the substrate transmitted light 33 and the light 35 which penetrates the transparent membrane 34 serve as an opposite phase, the portion equivalent to the edge part of the transparent membrane 34 interferes in it, it is weakened mutually, and forms dark space. Since the line width of the transparent membrane 34 is small, the dark space in two edge parts overlaps, and one dark space is formed.

[0053]The typical section structure of the self-align type phase shift mask was shown in drawing 6. As for the self-align type phase shift mask, the LSI pattern is formed with the opaque substances 36 (Cr etc.) to exposing light on the translucency board 30 (usually SiO₂). The phase shifter 37 is formed in the circumference of this opaque film 36 with transparent substances (SiO₂ etc.) to exposing light. As for the thickness of this phase shifter 37, $180 \times (2n+1) \text{ degree} \times 30(\%) \cdot n$ is [the phase of the transmitted light 38] an integer to the phase of the substrate transmitted light 33, [0054]It is controlled to fill *****. Although the above structures attained the above-mentioned optical principle in this example, other mask structures which do not limit this invention and attain the above-mentioned optical principle may be sufficient as this structure.

[0055]Thus, according to this example, in order to determine a light source configuration, the DOF improved effect of the last shipment pattern of all the sizes can be enlarged by using various phase shift masks as shown in drawing 4 - 6 as the mask 8 using the 4th filter 20 as shown in drawing 2. For this reason, even if it is when the size of a last shipment pattern is large, the depth of focus can be enlarged enough, and it becomes possible to aim at improvement in pattern exposure precision.

[0056]Next, the 2nd embodiment of this invention is described. This embodiment uses 4ths+ pupil filter. 4th filter for determining a light source configuration is the same as that of what is shown in said drawing 2, and, in addition to this, the phase filter 40 as shown in drawing 7 in the pupil position 16 of the projection optical system 14 shown in drawing 1 is arranged by this example.

[0057]The phase filter of drawing 7 (a) is a disk form symmetrical with rotation to the optic axis 41, and the diameter is equivalent to the pupil diameter. Construction material has translucency to exposing light, and uses SiO₂. In the zona-orbicularis field 42 of the inside diameter r and the width d, board thickness is thick only t rather than the other field 43. That is, the light path length of light who passes through the field 42 means becoming longer than that of the field 43. This light path length's difference produces and cheats out of the phase contrast of light. r, d, and t are determined depending on the position of line width to improve the depth of focus and 4th filter, etc. Although the phase filter which has the thickness distribution shown by drawing 7 (a) was used in this embodiment, this invention is not limited and the form of a phase filter may change by the line width and line type whose depth of focus wants to improve.

[0058]The phase filter shown in drawing 7 (b) also produces and cheats out of the same effect as said phase filter. The difference from drawing 7 (a) is that board thickness is thin only t rather than the other field 43 in the zona-orbicularis field 42 of the inside

diameter r and the width d . That is, the light path length of light who passes through the field 42 means being shorter than that of the field 43. since the phase contrast of the light produced according to light path length's difference makes 2π one cycle — drawing 7 (a) and (b) — also in which structure, it is possible to acquire desired phase contrast.

[0059]The result of having calculated the focus margin to the pattern size in the exposure using the 4th filter 20 and the phase filter 40 which have four openings is shown in drawing 8. A dotted line by the exposure (4ths filter + pupil filter) by this example when exposure (exposure only with 4th filter) and a solid line usually use the usual Cr mask. It is exposure (4ths filter + pupil filter + half-tone mask) by this example when an alternate long and short dash line uses a half-tone mask. As for NA of an exposure device, 0.6 and the exposure wavelength λ of 0.55 and the coherence factor σ are 365 nm.

[0060]When the phase filter 40 is inserted in a pupil position, it turns out that the problem at the time of a depth-of-focus improved effect becoming large by last shipment ≥ 0.65 micrometer, and exposing only with 4th Lighting Sub-Division is solved. When the half-tone mask shown by drawing 4 is used, it turns out that an effect is large. Even if it uses the self-align type mask and shifter edge which were shown by drawing 5 and drawing 6, an effect is large similarly. Since the amplitude transmittance of a pupil function is 100%, exposing light is absorbed, one, i.e., the filter, of the problem of the super flex time method, it becomes heat, an optical system causes thermal expansion, and the problem referred to as degrading transfer accuracy is not produced. Next, the 3rd embodiment of this invention is described. This embodiment uses 4ths+ zona-orbicularis filter.

[0061]The form of special diaphragm 9' of the secondary surface of light source shown in drawing 1 in this example is shown in drawing 9.

As for 51, a light transmission section and 53 are shade parts an optic axis and 52.

This is connected by the light transmission section E of the ring shape in which the circular light transmission section A, B, and C which had a large field to the radius vector direction centering on an optic axis, and D had a narrow field to the radius vector direction.

[0062]Although the boundary which consists of curves altogether constituted from drawing 9, it is not necessary to be necessarily a curve and is good also considering the 2nd form shown in drawing 10 as special diaphragm 9'. The 3rd form of special diaphragm 9' does not deviate from the range of this invention as form shown in drawing 11. The feature of the form of drawing 11 is at the point that the portion of a large field does not become uniform width to a radius vector direction, but the connection is intermittent further. In drawing 11, even A - TA are light transmission sections.

[0063]In the form of the embodiment shown in above-mentioned drawing 9 - drawing 11, the light transmittance of the light transmission section 52 may not necessarily be 100%, and does not need to be the same transmissivity in all the fields depending on the case. There is also no necessity which is point symmetry. In this embodiment, arrangement and the occupation area of the light transmission section 52 can be suitably changed with the desired resolution performance and dimensional accuracy of a pattern.

[0064]Drawing 12 and 13 show the exposure characteristic at the time of exposing using the special filter shown in drawing 9. Drawing 12 shows the characteristic to a last shipment pattern in every direction, and the characteristic of as opposed to a slanting last shipment pattern in drawing 13. The depth of focus when a vertical axis makes resist contrast 70%, and a horizontal axis show the pattern size of last shipment.

[0065]If the depth of focus required for actual device pattern transfer shall be 1.5 micrometers, the last shipment pattern size which can secure this required depth of focus will hardly deteriorate from drawing 12 compared with the case where the special filter which has four openings shown by the conventional example is used. That is, in the case of a conventional example, by this example, it is set to last shipment ≥ 0.32 micrometer to being last shipment ≥ 0.3 micrometer.

[0066]On the other hand, in the last shipment pattern of the slant shown in drawing 13, according to exposure by a conventional example, the pattern size which can secure the required depth of focus is last shipment ≥ 0.7 micrometer, and slanting last shipment is understood that it is necessary to design very thickly. On the other hand, it is equal even if the required depth of focus is securable by last shipment ≥ 0.55 micrometer, and it compares, when it is [exposure by this example] usually exposure (last shipment ≥ 0.5 micrometer). That is, according to this example, maintaining the resolution characteristics which excelled at the time of using the special filter which has four conventional aperture masks, in slanting last shipment, the exposure characteristic of the direction in every direction did not degrade resolution characteristics so much, and enabled large design rule reduction of the slanting last shipment pattern.

[0067]Drawing 12 and the characteristic shown in 13 change with the radius of the circular opening part ABCD of the special filter of drawing 9, a center position, the width of the ring shape field E, an inside diameter, and outer diameters. It is necessary to optimize if needed.

[0068]Thus, according to this example, there are high resolution performance and a depth-of-focus improved effect by use of the special filter which has 4ths+ zona orbicularis, and it is effective in reducing the dependency of the effect over the pattern size and the direction which moreover were not acquired conventionally on the level which is satisfactory practically. When the half-tone mask shown in drawing 4 - 6, a self-align type mask, and a shifter edge type mask are used as a mask, depth-of-focus enhancement effect is large.

[0069]Next, the 4th embodiment of this invention is described. This embodiment uses a half-tone mask together in 5th filter and 5th filter. It is fundamentally similar with the 1st embodiment, and the 5th filter 60 as a secondary light source is shown in drawing 14. As for 61, a light transmission section and 63 are shade parts an optic axis and 62.

To the optic axis 61, it is symmetrical with 4 times, and, in addition to the four openings A, B, and C which separated from the optic axis, and D, has the opening E in the optic-axis 51 neighborhood.

[0070]The result of having exposed usual Cr mask and half-tone mask is shown in drawing 15 and 16 using such a filter 60. Drawing 15 shows the resolution and the depth-of-focus improved effect of a line and a space. [as opposed to the last shipment pattern of 1:1 in a ratio] A horizontal axis shows pattern size and the vertical axis shows the depth of focus (DOF). NA of an exposure wavelength of 365 nm (i-line) and a projection optical system is 0.55.

[0071]Thus, in a last shipment pattern, the depth-of-focus improved effect by 5ths Lighting Sub-Division exposure falls compared with 4ths Lighting Sub-Division exposure. However, the minimum line width which can secure the depth of focus of 1.5 micrometers is almost the same as the case of 4ths Lighting Sub-Division exposure, and does not have an adverse effect on the shrink of a chip size at all. Depth-of-focus enhancement effect can be further enlarged by using a half-tone mask.

[0072]Drawing 16 shows the result of having calculated the depth of focus to the pattern size of an isolated omission pattern. Compared with the case where it exposes with 4th Lighting Sub-Division, by considering it as 5th Lighting Sub-Division exposure shows that the depth of focus is improving. it being alike furthermore and using a half-tone mask — it turns out that the depth of focus is improving. Securing the depth of focus of 1.5 micrometers can be kept, and line width is understood that it is possible to make it thin to 0.41 micrometer by the half-tone mask exposure by 5th Lighting Sub-Division to the case of Cr mask exposure being [which is depended on 4th Lighting Sub-Division] usually 0.45 micrometer. It is possible by optimizing the size of an opening to raise the depth of focus further.

[0073]That is, it became possible for an isolated omission pattern to extract and to design line width more thinly, with the strong point of 4th Lighting Sub-Division exposure that the minimum line width of last shipment of 1:1 can be designed thinly (about 0.3 micrometer) by considering it as 5th Lighting Sub-Division exposure having. As a result, it became possible for what is called an isolated omission pattern with a thick linewidth to extract to the space width which exists in an LSI pattern, and to design line width more thinly, and it became possible to attain shrink with a large chip size.

[0074]This invention is not limited to each embodiment mentioned above, it is a range which does not deviate from the summary, and can change variously, and can be carried out. In an embodiment, although the special diaphragm shown in drawing 2 and drawing 4 was used as a means to attain 4th Lighting Sub-Division and 5th Lighting Sub-Division, it is possible not to limit this invention, to use a fiber etc. for others, and to attain 4th Lighting Sub-Division and 5th Lighting Sub-Division.

[0075]Next, the 5th embodiment of this invention is described. Drawing 17 is an outline block diagram showing the projection aligner concerning the 5th embodiment of this invention. It is condensed by the 1st condensing optical system 72, and the light generated from the light source 71 is led to the equalization optical system 73. As for the equalization optical system 73, an optical fiber, a polyhedral prism, etc. may be used. Image formation of the light which came out of the equalization optical system 73 is carried out, and it forms a secondary light source. The filter 4 (the 1st eccentricity filter is called hereafter) which has the aperture 81 in the position which carried out eccentricity from the optic axis is installed in this secondary light source position. Exposing light passes only the portion of this aperture 81, and illuminates the reticle 76 through the 2nd condensing optical system 75.

[0076]The exposing light which passed the reticle 76 reaches on the wafer 79 according to the projection optical system 77. Although the pupil 78 which exists in the projection optical system 77 is usually a circular opening, in this example, the slit shape filter (a pupil slit filter is called hereafter) is installed in the pupil position as the graphic display. The longitudinal direction of this slit is the same as the eccentric direction of the 1st eccentricity filter 74. this 1st eccentricity filter 74 and the pupil slit filter 78 have maintained the physical relationship of said description — the synchronous roll control circuit 80, the motor which is not illustrated, etc. — a synchronization — it is pivotable. One exposure is ended by rotating the 1st eccentricity filter 74 and the pupil slit filter 78 360 degrees in the synchronous roll control circuit 80.

[0077]The result of having calculated the focus margin to the pattern size in exposure with the projection aligner of this example is shown in drawing 18. A dotted line is exposure by an embodiment when exposure ($\sigma=0.6$) and a solid line usually use the usual Cr mask. NA of an exposure device, the coherence factor σ , and the exposure wavelength λ are 0.55 and 0.6, 365 nm, respectively. It does not depend for the result of drawing 18 in the direction of last shipment. Therefore, it turns out that this example solved the problem mentioned above, the direction dependency of last shipment was abolished, and fast depth-of-focus increase is moreover usually attained compared with exposure. The depth of focus of such fine last shipment improves that the throw of an eccentric from the optic axis of the center of the aperture 81 is enlarged.

[0078]According to this example, by thus, the illumination-light study system and thing which allocate in the secondary light source position of an exposure device the filter which has the aperture 81 in the position which carried out eccentricity from the optic axis, and illuminate the mask 76 from across. The high order diffracted light of a last shipment pattern long in a direction vertical to an eccentric direction goes into the projection optical system 77, and resolution improves. And by allocating in a pupil position the slit which doubled the eccentric direction of the filter with the longitudinal direction, The pattern direction dependency of resolution is cancelable by cutting positively the diffracted light generated from patterns other than the above-mentioned direction, and exposing a slit and a filter further, carrying out synchronous rotation 360 degrees by setting the axis of rotation as an optic axis.

[0079]According to this example, the improvement in resolution can be further aimed at by providing the translucent section for attenuating the zero-order diffracted light as the pupil slit filter 78, as shown in drawing 19. The light which came out of the 1st eccentricity filter 74 like drawing 19 illuminates the mask 76 from across. In the case of the last shipment pattern of 1:1, it diffracts and the transmitted light of the mask 76 is mainly divided into the primary [**] diffracted light and the zero-order diffracted light. A zero order light goes straight on and reaches a point of the pupil slit filter 78. The primary [+] diffracted light reaches b point. — The primary diffracted light does not go into a pupil and does not participate in image formation. a zero order light — the primary [+] diffracted light — ***** — since it is large, it is possible by making it decrease with the semi-transparent membrane 85 to raise resolution more. Although the semi-transparent membrane 85 was used in this example, what is necessary is just a means to attenuate only a zero order light.

[0080]Drawing 20 is an outline block diagram showing the 6th embodiment of this invention. Identical codes are given to drawing 17 and identical parts, and the detailed explanation is omitted. A point that this example differs from the 5th embodiment is the form of a light source filter with which a secondary light source is equipped.

[0081]namely, — a light source filter in this example sandwiches an optic axis — an object — the two apertures 81 and 82 are formed in a position (2nd filter is called hereafter). According to this example, although resolution characteristics are the same as the 5th embodiment, ending, when one exposure rotates the 2nd filter 74 and the pupil slit filter 78 180 degrees in the synchronous roll control circuit 80 differ. Since an aperture will be set to two and angle of rotation will become half if light volume from the aperture 81 of the 5th embodiment and light volume from one aperture in this example are equal, exposure time can be made into a half.

[0082]Drawing 21 is an outline block diagram showing the 7th embodiment of this invention. Identical codes are given to drawing 17 and identical parts, and the detailed explanation is omitted. The points that this example differs from the 6th embodiment are the form of the light source filter with which a secondary light source is equipped, and the form of the filter with which a pupil position is equipped.

[0083]That is, the light source filter in this example has formed the four apertures 81, 82, 83, and 84 in the position symmetrical with 4 times to the optic axis (4th filter is called hereafter). The filter of a pupil position has a parallel-crosses-like opening (a pupil parallel-

crosses filter is called hereafter). What is necessary is just to be an opening which connects the 4th in a pupil position as form of the filter of a pupil position, and they may be the thing which provided the opening along the side direction of the rectangle which consists of the 4th like the above-mentioned parallel crosses, or the thing (in this case, it becomes a cross opening) which provided the opening in the 4th diagonal direction.

[0084]According to this example, resolution characteristics are almost the same as the 5th embodiment, but ending, when one exposure rotates 4th filter and a pupil parallel-crosses filter 90 degrees in the synchronous roll control circuit 80 differ. Since an aperture will be set to four and will become the angle-of-rotation drawings 1/4 if the light volume from the aperture of the 5th embodiment and the light volume from one aperture in this example are equal, exposure time can be set to one fourth.

[0085]In the above 5th - the 7th embodiment, although the filter of slit shape or the shape of parallel crosses is installed in the pupil position of a projection optical system, in the shaded part of this filter, exposing light is absorbed, it changes to heat, an optical system is degraded, and the problem of affecting transfer accuracy greatly arises. Especially drawing 22 shows specific constitution of the pupil filter for solving the above-mentioned problem in the 5th and the 6th embodiment. A figure is a block diagram about a pupil slit filter. It is a mirror with [91 / slit] an inclination in 92. If exposing light enters into this pupil slit filter from a top, the exposing light which entered into the inclined mirror 92 will be reflected without being absorbed. The reflected exposing light is drawn out of an optical system, and is absorbed by the absorber allocated out of the optical system. Therefore, since exposing light does not change to heat in an optical system, it does not degrade transfer accuracy.

[0086]In the 5th - the 7th embodiment, it becomes possible by applying a halftone phase shift mask as a mask to raise the depth of focus and resolution further. Transfer property when the dashed line of drawing 18 transfers using a half-tone mask in addition to the three above-mentioned embodiments is shown. It turns out that the depth of focus is improving compared with the case where the usual Cr mask is used.

[0087]In the above-mentioned example, when the half-tone mask was exposed with 4th Lighting Sub-Division filter and the phase filter, it was shown that an effect is large, but even if it uses other phase shift masks, for example, a shifter edge type phase shift mask, and a self-align type phase shift mask, a big effect is acquired similarly. Other mask structures which attain the above-mentioned optical principle may be sufficient.

[0088]In the 5th - the 7th embodiment, in order to determine the form of a secondary light source, the filter which has at least one aperture which carried out eccentricity from the optic axis was used, but this invention may not be limited and other methods, such as a fiber, may be used.

[0089]

[Effect of the Invention]As explained in full detail above, according to this invention (Claims 1-3), 4th filter is used as a secondary light source. And by using a half-tone mask, a self-align type phase shift mask, a shifter edge type phase shift mask, etc. as a mask, when the size of a last shipment pattern is large, even if it is, the depth of focus can be enlarged enough, and improvement in exposure precision can be aimed at.

[0090]According to this invention (Claim 4), 4th filter is used as a secondary light source, and by arranging a phase filter to the pupil position of a projection optical system, it cannot be dependent on pattern size and the big depth of focus and a marginal resolution improved effect can be acquired. In addition, it is possible to use a half-tone mask and a phase shift mask for a mask, and to enlarge the above-mentioned effect more by things.

[0091]By using the special diaphragm which has the composition of two kinds of filters of a zona-orbicularis Lighting Sub-Division filter and 4th Lighting Sub-Division filter as a secondary light source according to this invention (Claim 5), Even the level which is satisfactory practically can reduce pattern size and the dependency of a direction, and high resolution performance and a depth-of-focus improved effect are acquired.

[0092]It adds to the depth of focus of the last shipment pattern in the case of exposing like [according to this invention (Claims 6-8)] the Claims 1-3 mentioned above, using 4th filter as a secondary light source, and a marginal resolution improved effect. By enlarging light source intensity near the center of a secondary light source, the depth of focus and resolution over an isolated omission pattern can also be raised. As a result, it becomes possible to attain shrink with a large chip size. According to this invention (Claim 9, 10), by carrying out synchronous rotation of the secondary light source and pupil filter which have the aperture which carried out eccentricity, it does not depend in the direction of a pattern, but it becomes possible to enlarge the depth of focus enough.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

- [Drawing 1] The outline block diagram showing the projection aligner concerning the 1st embodiment of this invention,
 [Drawing 2] The top view showing the composition of 4th filter in the 1st embodiment,
 [Drawing 3] The characteristic figure showing the relation of the last shipment size and DOF in the 1st embodiment,
 [Drawing 4] The figure showing the typical section structure of a half-tone mask,
 [Drawing 5] The figure showing the typical section structure of a shifter edge type phase shift mask,
 [Drawing 6] The figure showing the typical section structure of a self-align type phase shift mask,
 [Drawing 7] The perspective view showing the outline composition of the phase filter used for the 2nd embodiment,
 [Drawing 8] The characteristic figure showing the relation of the last shipment size and DOF in the 2nd embodiment,
 [Drawing 9] The figure showing the composition of 4th filter which has the zona orbicularis used for the 3rd embodiment,
 [Drawing 10] The figure showing another example of 4th filter which has the zona orbicularis,
 [Drawing 11] The figure showing the composition of 4th filter which has the virtual zona orbicularis,
 [Drawing 12] The characteristic figure showing the relation of the in-every-direction last shipment size and DOF in the 3rd embodiment,
 [Drawing 13] The characteristic figure showing the relation of the slanting last shipment size and DOF in the 3rd embodiment,
 [Drawing 14] The figure showing the composition of 5th filter used for the 4th embodiment,
 [Drawing 15] The characteristic figure showing the relation of the last shipment size and DOF in the 4th embodiment,
 [Drawing 16] The characteristic figure in which being able to keeping setting in the 4th embodiment and showing the relation between pattern size and DOF,
 [Drawing 17] The outline block diagram showing the projection aligner concerning the 5th embodiment,
 [Drawing 18] The characteristic figure showing the relation of the last shipment size and DOF in the 5th this example,
 [Drawing 19] The mimetic diagram for explaining an operation of the 5th embodiment,
 [Drawing 20] The outline block diagram showing the projection aligner concerning the 6th embodiment,
 [Drawing 21] The outline block diagram showing the projection aligner concerning the 7th embodiment,
 [Drawing 22] The perspective view showing the example of specific constitution of the pupil filter which suppressed generation of heat,
 [Drawing 23] The outline block diagram showing the conventional projection aligner,
 [Drawing 24] The figure for explaining the problem of equipment conventionally,
 [Drawing 25] The figure showing the example of the filter used instead of an aperture diaphragm,
 [Drawing 26] The characteristic figure showing the relation of the pattern size and the depth of focus in equipment conventionally,
 [Drawing 27] The figure showing the relation between 4th filter and the direction of last shipment,
 [Drawing 28] The figure showing the relation between 4th filter and the direction of last shipment,
 [Drawing 29] The characteristic figure showing the relation between the pattern size in the case of having the directivity of 45 degrees to last shipment, and the depth of focus.
- [Explanations of letters or numerals]
 1 [— Input lens,] — A lamp and 2 — An elliptic reflecting mirror, 3 — The 2nd focus of the elliptic reflecting mirror 2, and 4 5 [— A reticle (mask), 9' / — A special diaphragm and 10 / — A filter, 11, 12 / — A cold mirror and 13 / — A lamp house, 14 / — A projection optical system and 15 / — A wafer, 16' / — Filter,] — An optical integrator and 6 — An output lens, 7 — A collimation lens, 8 20 — 4th filter, 21, 51, 61 — An optic axis, and 22, 52, 62 — Light transmission section, 23, 53, 63 [— A transparent membrane, 36 / — An opaque film and 37 / — A phase shifter, 40 / — A phase filter (pupil filter) and 50 / — 4th filter, 60 — 5th filter which have the zona orbicularis.] — A shade part and 30 — A translucency board, 31 — A semi-transparent membrane and 34

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

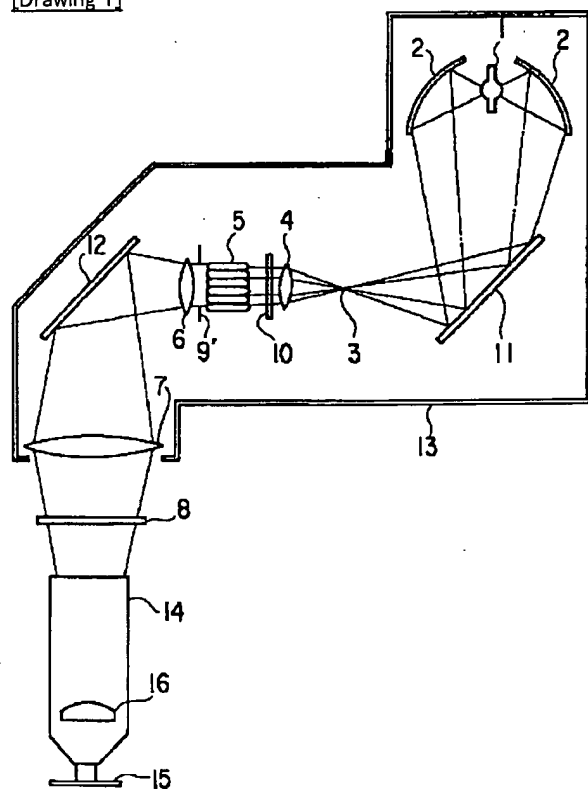
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.*** shows the word which can not be translated.

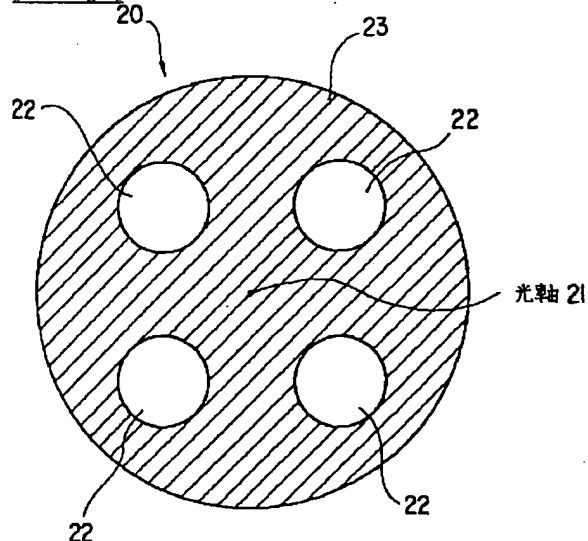
3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

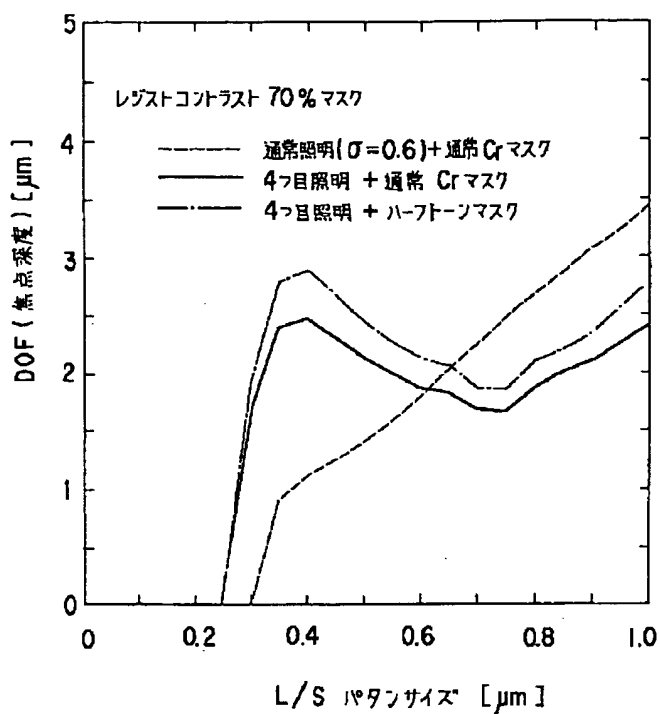
[Drawing 1]



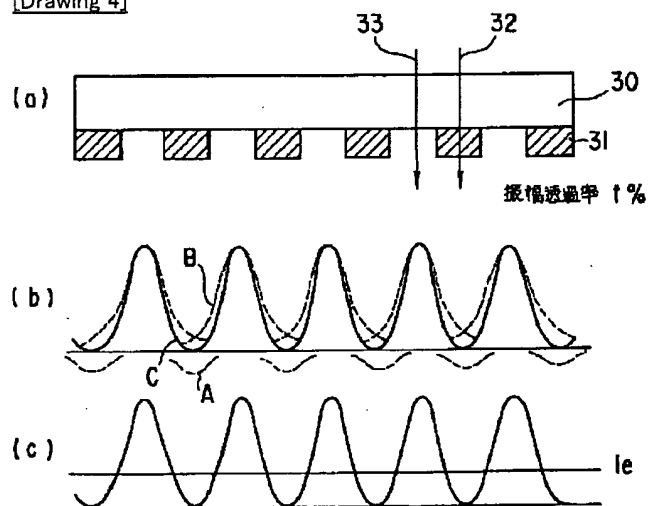
[Drawing 2]



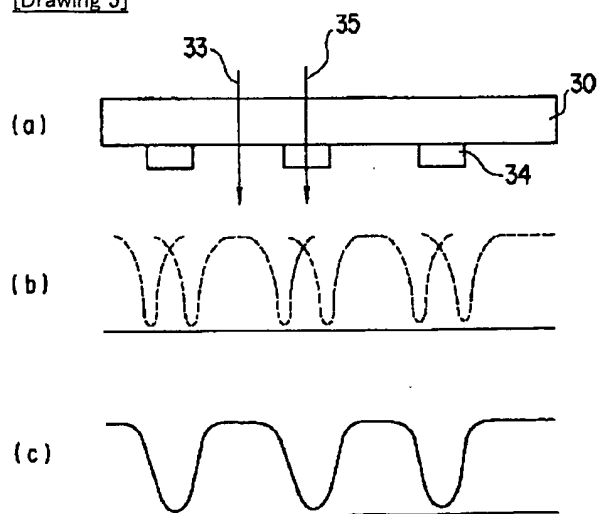
[Drawing 3]



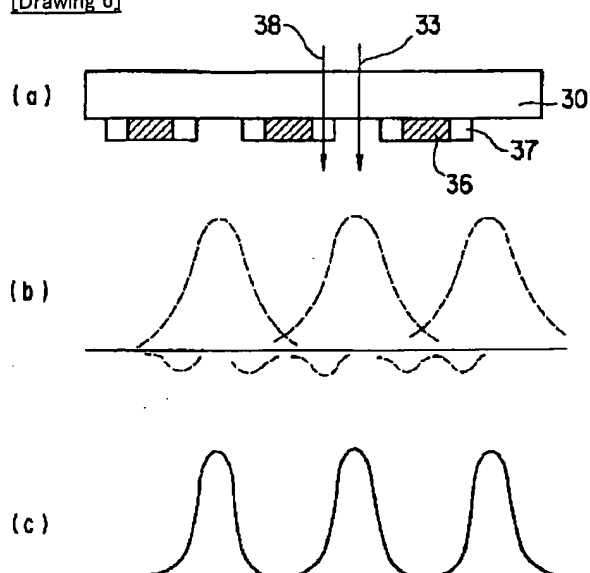
[Drawing 4]



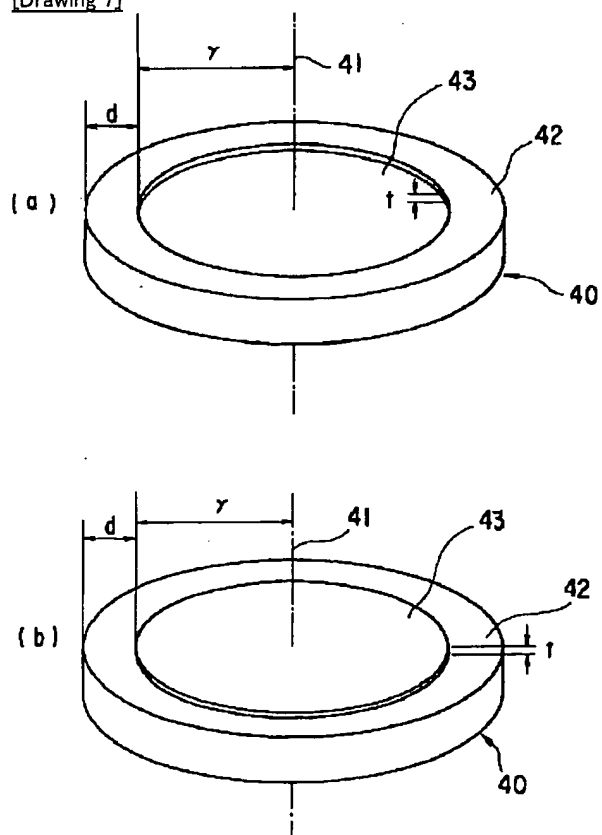
[Drawing 5]



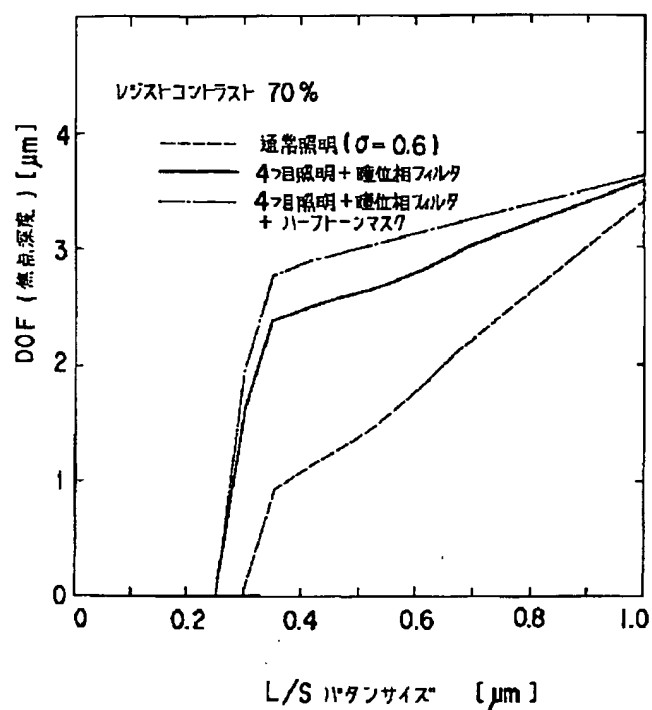
[Drawing 6]



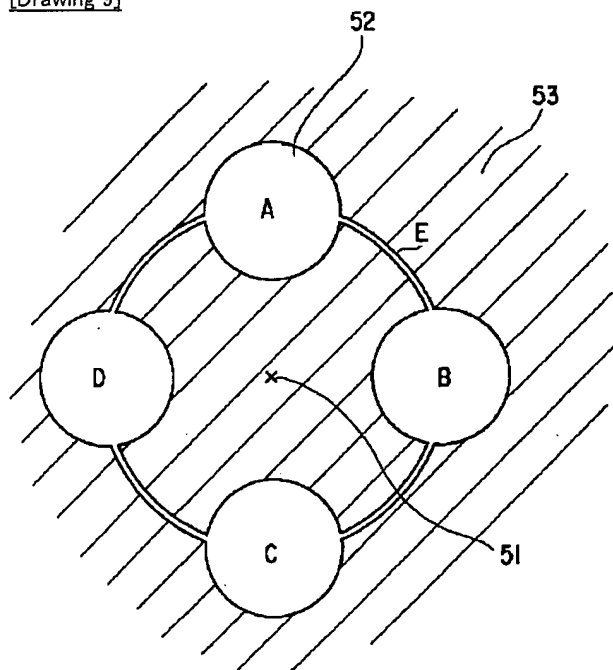
[Drawing 7]



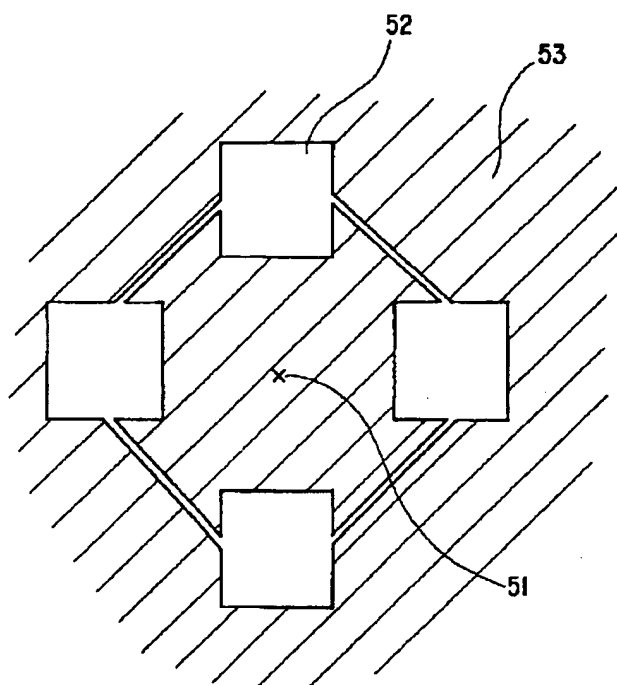
[Drawing 8]



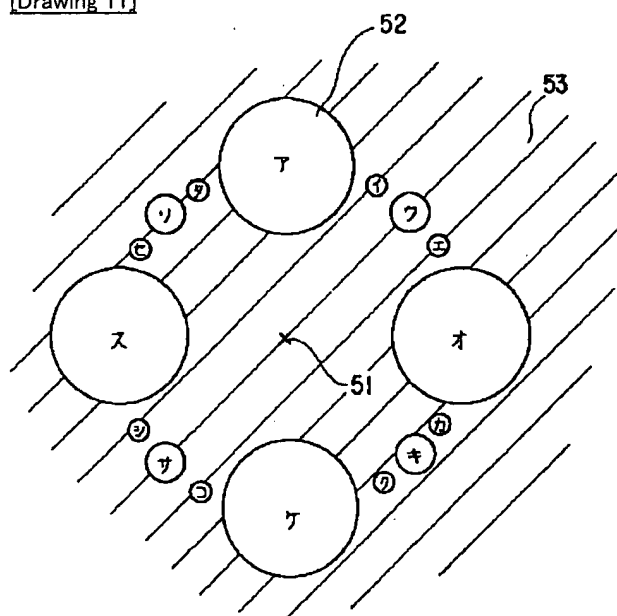
[Drawing 9]



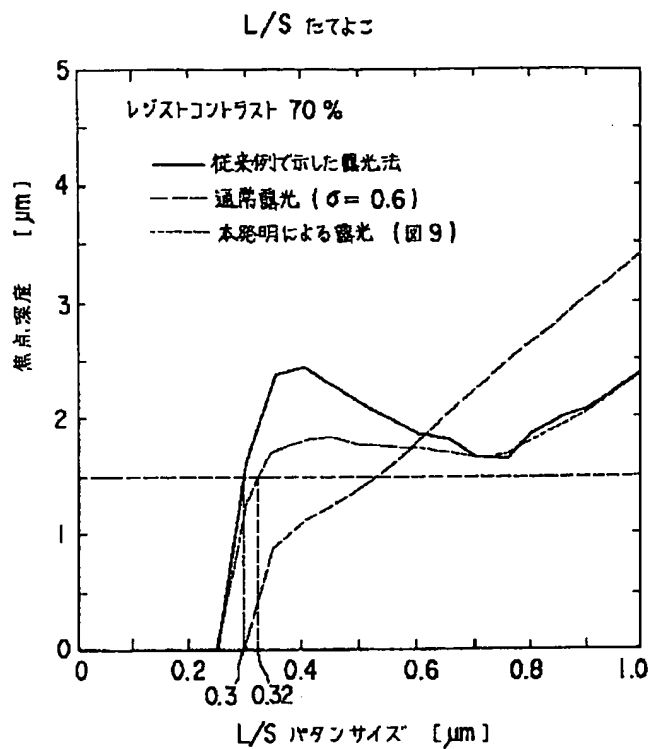
[Drawing 10]



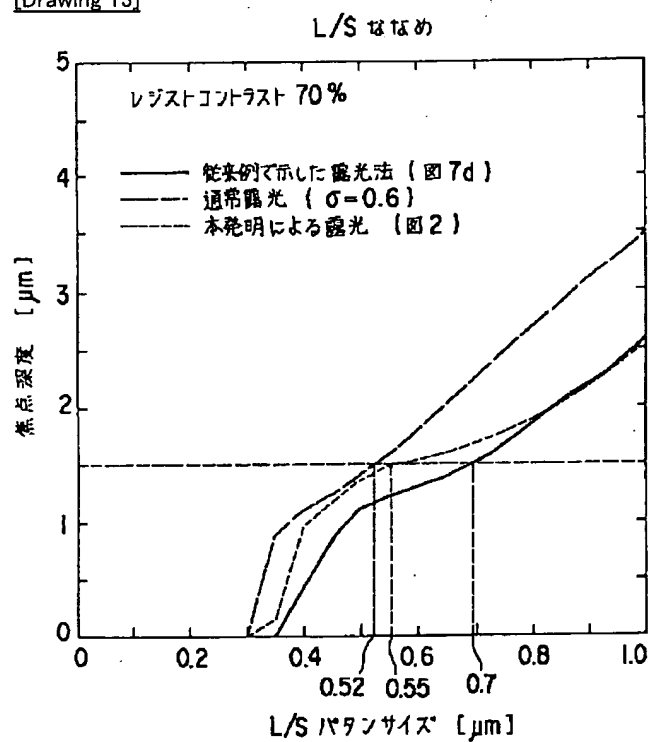
[Drawing 11]



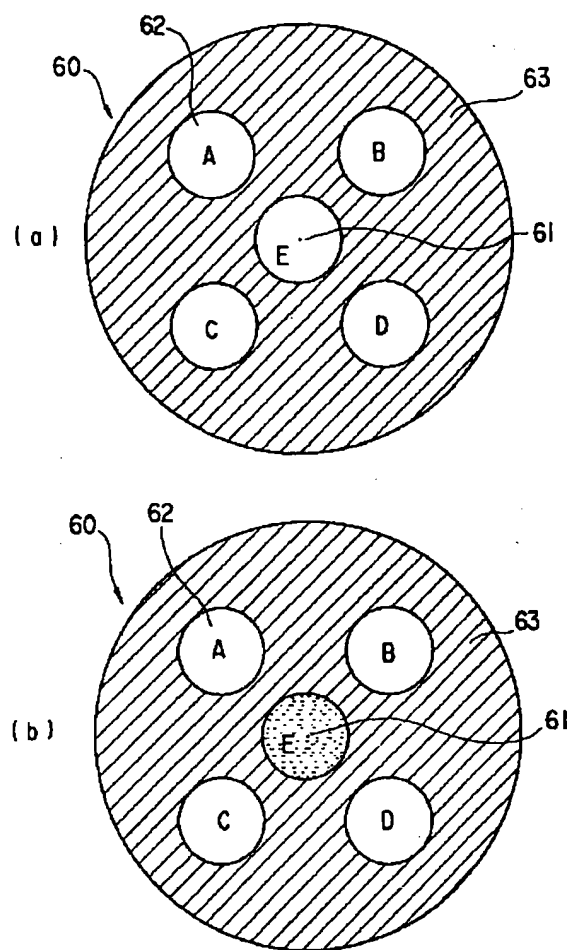
[Drawing 12]



[Drawing 13]

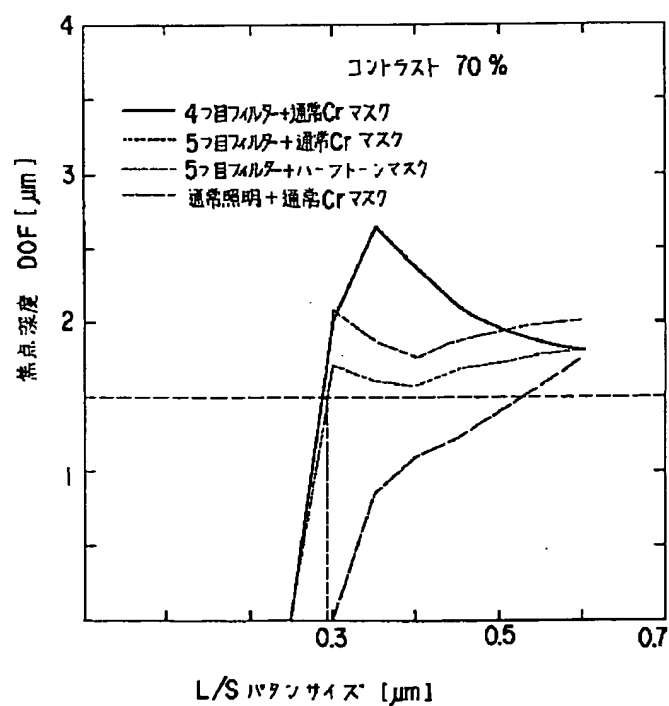


[Drawing 14]

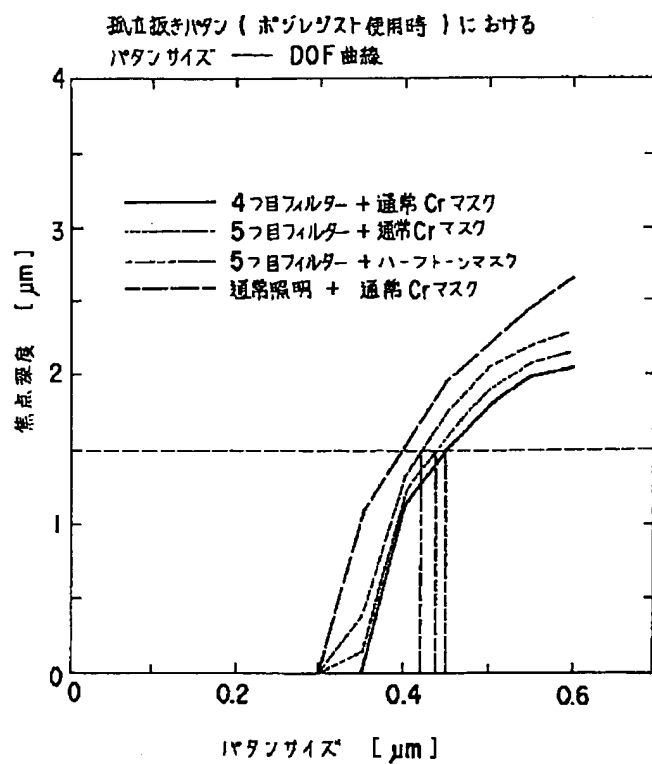


[Drawing 15]

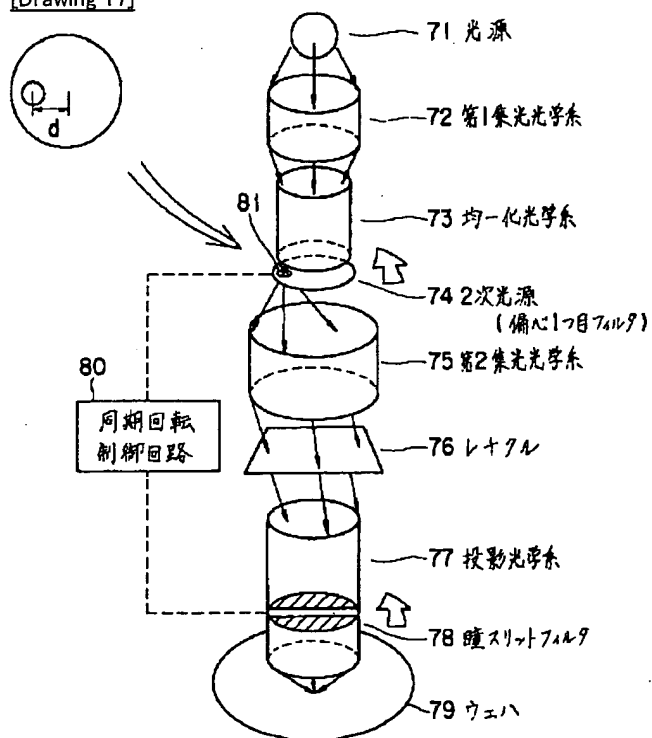
L/S におけるパターンサイズ - DOF 曲線



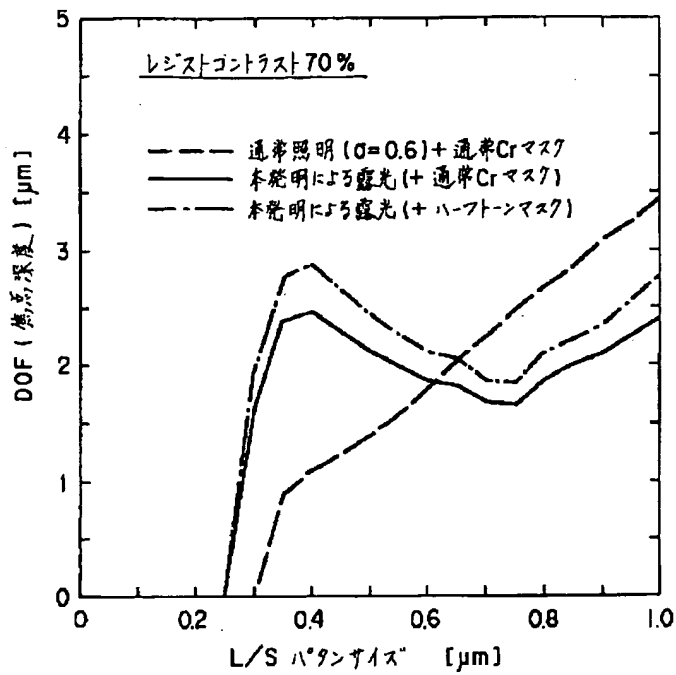
[Drawing 16]



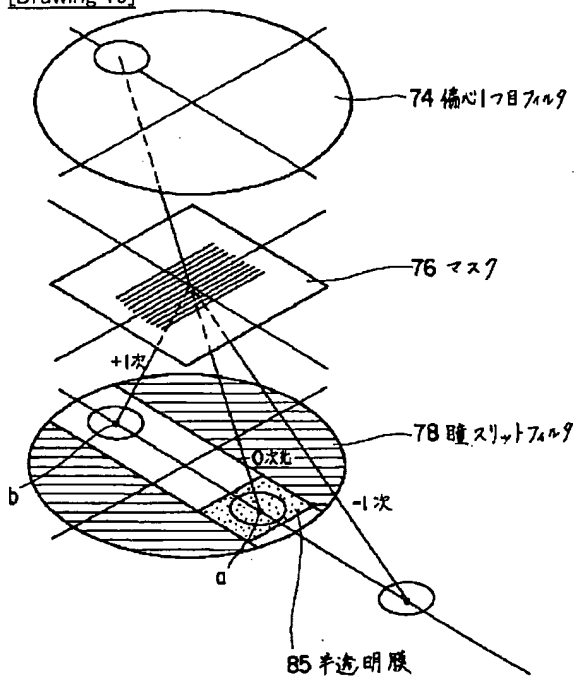
[Drawing 17]



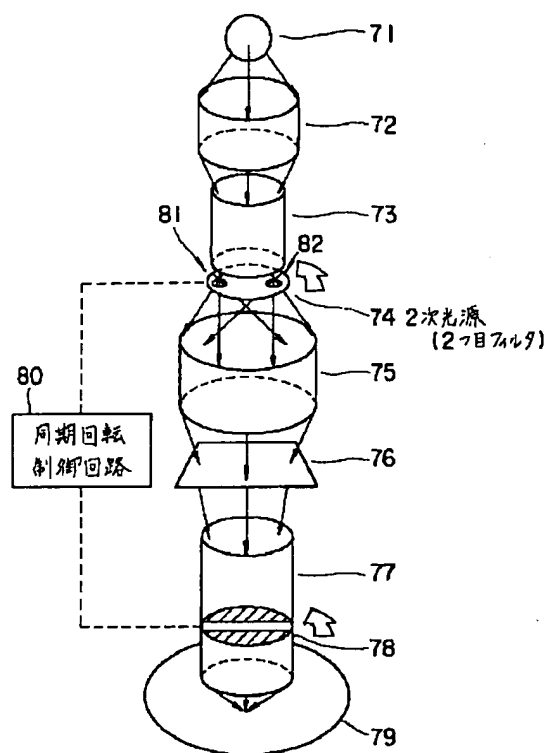
[Drawing 18]



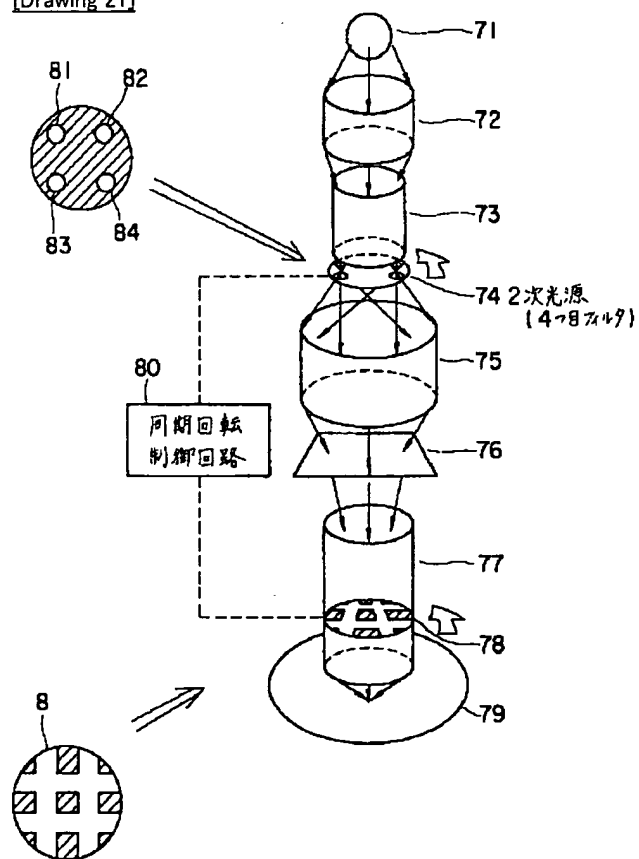
[Drawing 19]



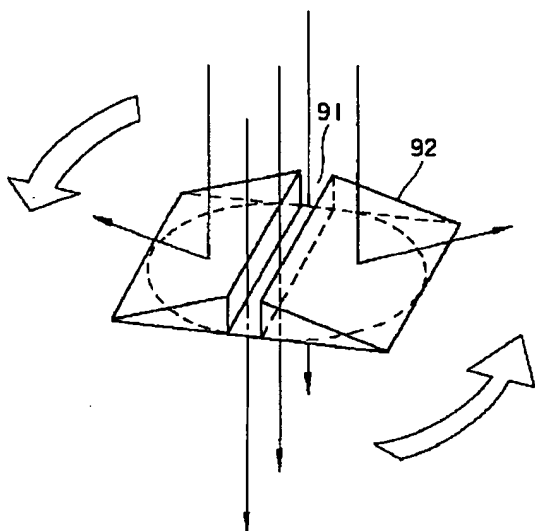
[Drawing 20]



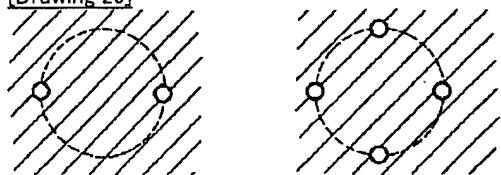
[Drawing 21]



[Drawing 22]



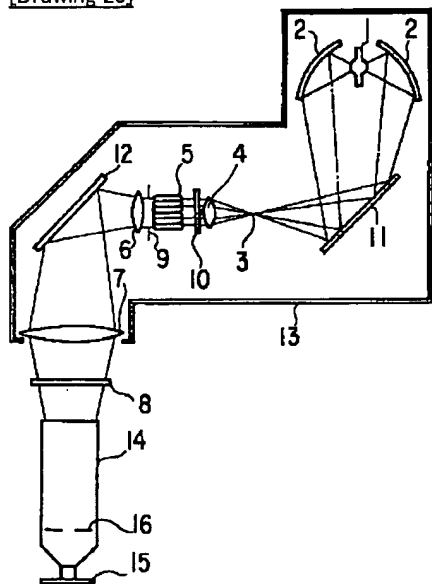
[Drawing 25]



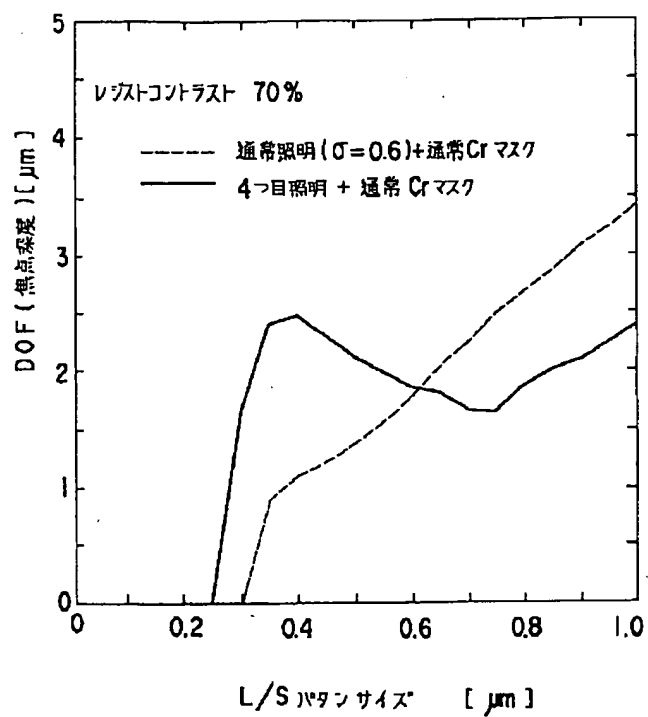
(a)

(b)

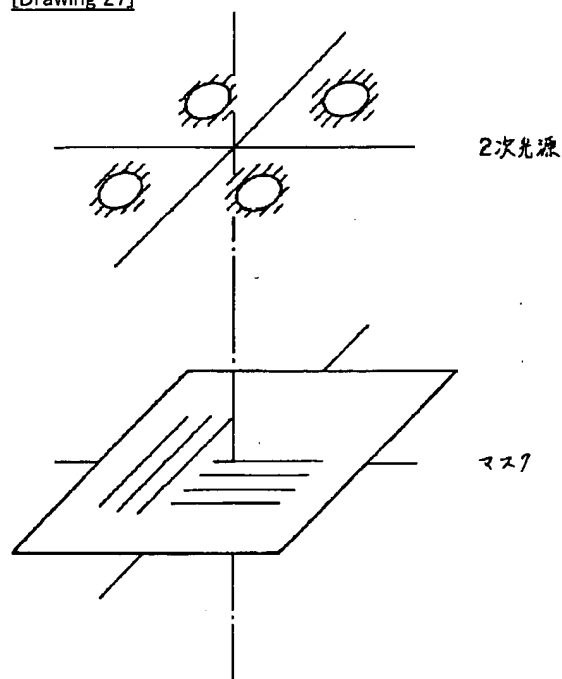
[Drawing 23]



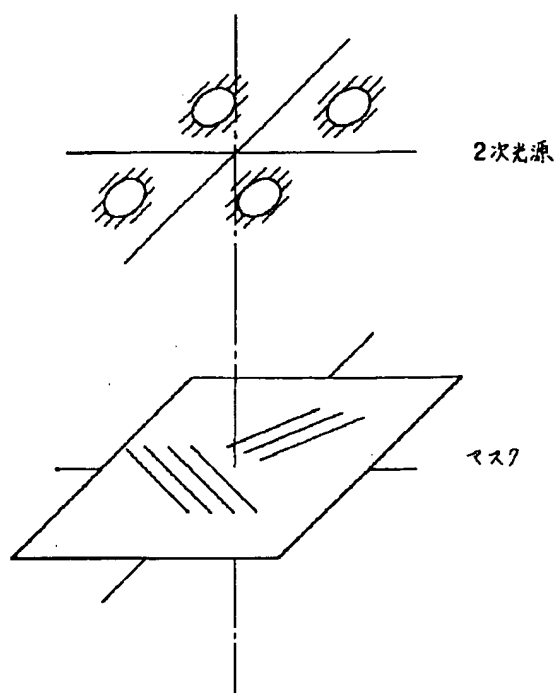
[Drawing 26]



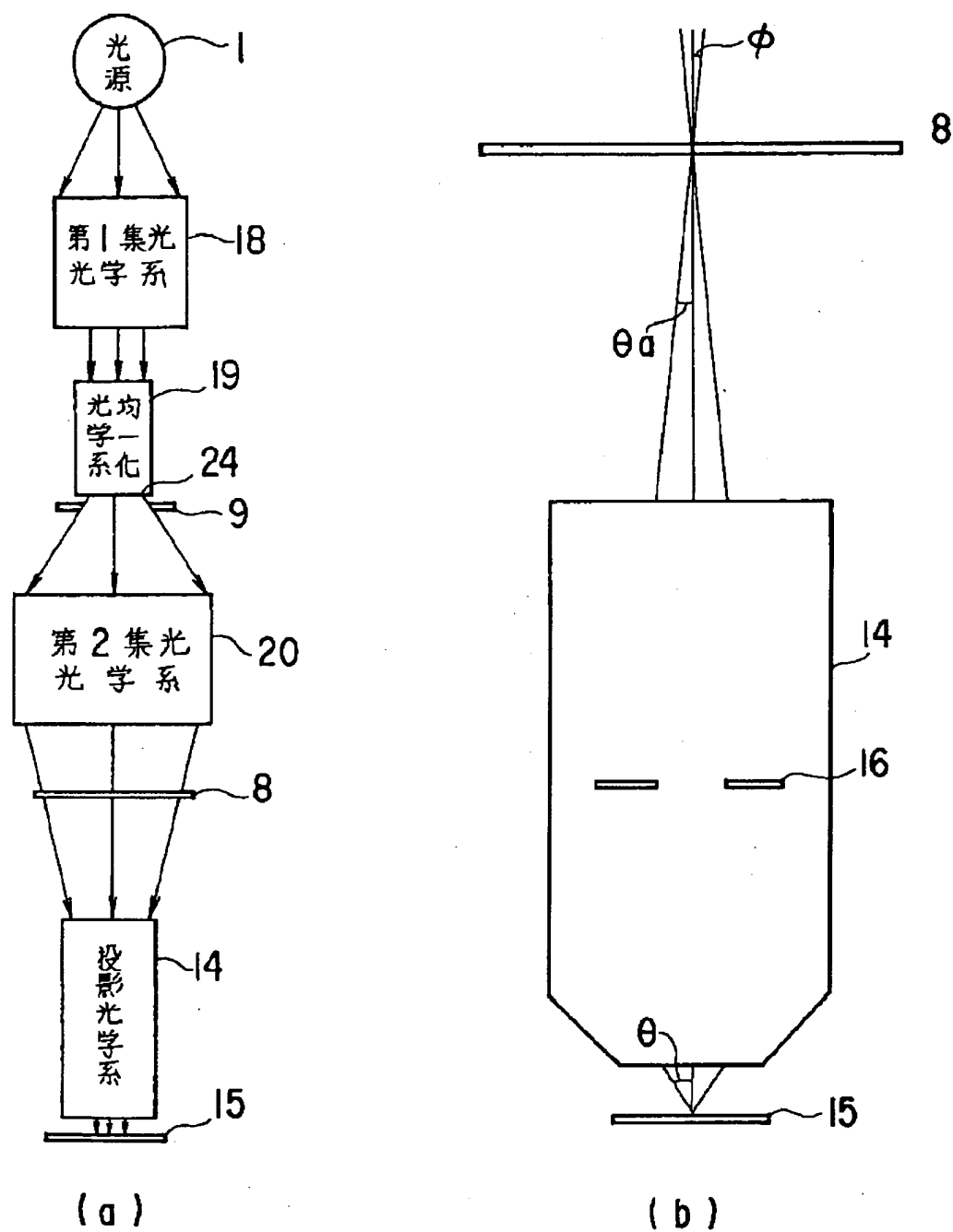
[Drawing 27]



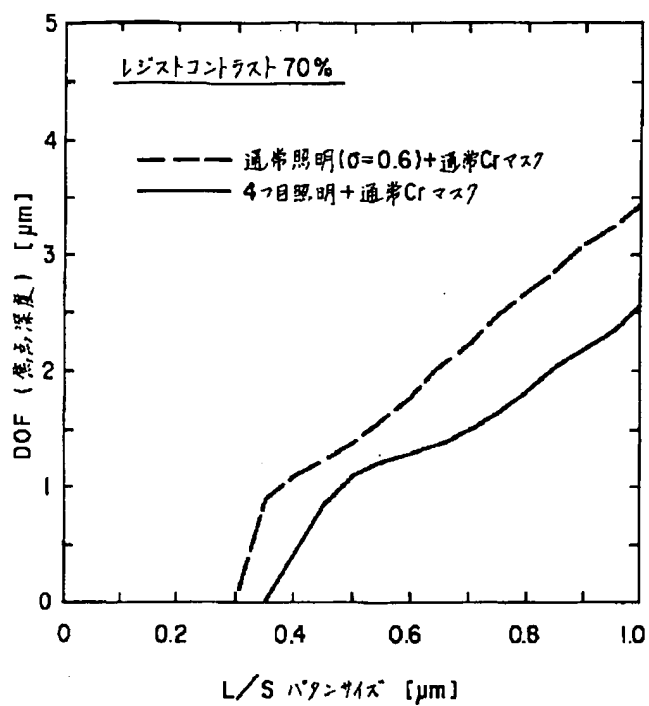
[Drawing 28]



[Drawing 24]



[Drawing 29]



[Translation done.]

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-326370

(43)公開日 平成5年(1993)12月10日

(51)Int.Cl.⁵

H 0 1 L 21/027

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

7352-4M

H 0 1 L 21/ 30

3 1 1 L

7352-4M

3 1 1 W

審査請求 未請求 請求項の数10(全 20 頁)

(21)出願番号 特願平4-186673

(22)出願日 平成4年(1992)7月14日

(31)優先権主張番号 特願平4-70617

(32)優先日 平4(1992)3月27日

(33)優先権主張国 日本(J P)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 井上 壮一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝総合研究所内

(72)発明者 藤澤 忠仁

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝総合研究所内

(72)発明者 佐藤 隆

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝総合研究所内

(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

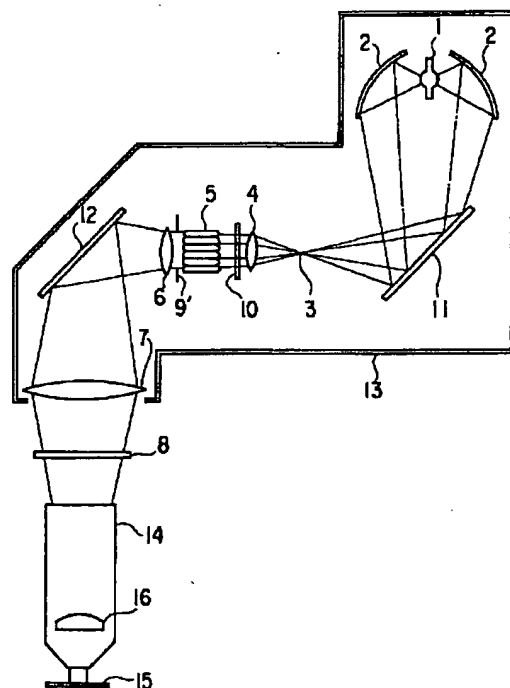
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 投影露光装置

(57)【要約】

【目的】 L/Sパターンのサイズが大きい場合にあってても焦点深度を十分大きくすることができ、露光精度の向上をはかり得る投影露光装置を提供すること。

【構成】 マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、マスク8を照明する2次光源として、該光源の射出面内強度分布を光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とせしめる特殊絞り9' (4つ目フィルタ20)を設け、マスク8として、透光性基板上に半透明膜のパターンが形成され、該半透明膜を通過する光の透光性基板を通過する光に対する位相差が、 $180 \times (2n + 1) \pm 30$ (度) : nは整数、の関係を満たし、且つ半透明膜の振幅透過率Tが透光性基板の振幅透過率T0に対して $0.01 \times T0 \leq T \leq 0.30 \times T0$ 、の関係を満たすハーフトーンマスクを用いたことを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、前記マスクを照明する光源として、該光源の射出面内強度分布を光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とせしめ、前記マスクとして、透光性基板上に半透明膜のパターンが形成され、該半透明膜を通過する光の透光性基板を通過する光に対する位相差が、

$$180 \times (2n+1) \pm 30 \text{ (度)} : n \text{ は整数、}$$

の関係を満たし、且つ半透明膜の振幅透過率Tが透光性基板の振幅透過率T0に対して

$$0.01 \times T0 \leq T \leq 0.30 \times T0$$

を満たすものを用いたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、前記マスクを照明する光源として、該光源の射出面内強度分布を光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とせしめ、

前記マスクとして、透光性基板上に遮光性膜によってパターンが形成され、該遮光膜によるパターンの周囲又は周囲を除く部分に透光性膜を配設し、該透光性膜を通過する光の透光性基板を通過する光に対する位相差が、

$$180 \times (2n+1) \pm 30 \text{ (度)} : n \text{ は整数、}$$

の関係を満たすものを用いたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項3】マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、前記マスクを照明する光源として、該光源の射出面内強度分布を光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とせしめ、

前記マスクとして、透光性基板上に透光性膜によって少なくとも一部にパターンが形成され、該透光膜によるパターンを通過する光の透光性基板を通過する光に対する位相差が、

$$180 \times (2n+1) \pm 30 \text{ (度)} : n \text{ は整数、}$$

の関係を満たすものを用いたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項4】マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、前記マスクを照明する光源として、該光源の射出面内強度分布を光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とせしめ、

前記投影光学系の瞳位置に、露光光に対する透光性を有する基板を配置し、該基板の厚さ又は屈折率に分布を持たせたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項5】光源からの光を集光する第1集光光学系と、この第1集光光学系で集光された光を均一化する均一化光学系と、この均一化光学系の出射側の光源面位置に設けられた特殊絞りと、この特殊絞りを介して得られ

る光を集光してマスクに照射する第2集光光学系と、マスクを透過した光をウェハ上に投影する投影光学系とを具備し、マスクに形成されたパターンをウェハ上に転写する投影露光装置において、

前記特殊絞りは、光軸を中心とする同心円上に略図形の中心があり、光源面内の強度分布を光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とせしめる4箇所の比較的動径方向が広い領域と、これら4つの領域を結合させる比較的動径方向が狭い領域からなるものであることを特徴とする投影露光装置。

【請求項6】マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、

前記マスクを照明する光源として、該光源の射出面内強度分布を光軸に対して4回対称で光軸から外れた4つの領域にて強度大とし、且つ光源の中心部分の強度を大とし、

前記マスクとして、透光性基板上に半透明膜のパターンが形成され、該半透明膜を通過する光の透光性基板を通過する光に対する位相差が、

$$180 \times (2n+1) \pm 30 \text{ (度)} : n \text{ は整数、}$$

の関係を満たし、且つ半透明膜の振幅透過率Tが透光性基板の振幅透過率T0に対して

$$0.01 \times T0 \leq T \leq 0.30 \times T0$$

を満たすものを用いたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項7】マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、

前記マスクを照明する光源として、該光源の射出面内強度分布を光軸に対して4回対称で光軸から外れた4つの領域にて強度大とし、且つ光源の中心部分の強度を大とし、

前記マスクとして、透光性基板上に遮光性膜によってパターンが形成され、該遮光膜によるパターンの周囲又は周囲を除く部分に透光性膜を配設し、該透光性膜を通過する光の透光性基板を通過する光に対する位相差が、

$$180 \times (2n+1) \pm 30 \text{ (度)} : n \text{ は整数、}$$

の関係を満たすものを用いたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項8】マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、

前記マスクを照明する光源として、該光源の射出面内強度分布を光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とし、且つ2次光源の中心部分の強度を大とし、

前記マスクとして、透光性基板上に透光性膜によって少なくとも一部にパターンが形成され、該透光膜によるパターンを通過する光の透光性基板を通過する光に対する位相差が、

$$180 \times (2n+1) \pm 30 \text{ (度)} : n \text{ は整数、}$$

の関係を満たすものを用いたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項9】マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、前記マスクを照明する光源の強度分布を、光軸から外れた1つの領域又は光軸を挟んで対称な2つの領域にて強度大とし、前記投影光学系の瞳の透過率分布を、該瞳上で前記光源の強度大となる領域を含む瞳の直径方向に沿って透過率大とし、前記光源の強度分布と前記瞳の透過率分布を露光中に光軸を中心として同期回転させることを特徴とする投影露光装置。

【請求項10】マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、前記マスクを照明する光源の強度分布を、光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とし、前記投影光学系の瞳の透過率分布を、該瞳上で前記光源の強度大となる4つの領域からなる矩形の辺方向又は対角線方向に透過率大とし、前記光源の強度分布と前記瞳の透過率分布を露光中に光軸を中心として同期回転させることを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体集積回路の製造に要する微細レジストパターンを形成するための投影露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、光リソグラフィ技術の進歩は目覚ましく、g線(436nm)やi線(365nm)の投影露光装置では、0.5 μ mルールも実現できる可能性が出てきた。これは、投影露光装置の高性能化、特にレンズの高NA化が進んだことによる。しかし、次世代の0.3 μ mルールも今までの延長で達成できるかは疑問である。レンズの高NA化や、露光光の短波長化により解像度は向上するが、焦点深度は低下するため実用解像度はあまり向上しない。従って、焦点深度の向上技術の開発が望まれている。

【0003】図23に、従来一般的に用いられている投影露光装置の概略構成を示す。この図において、1は水銀灯からなるランプ、2は楕円反射鏡、3は楕円反射鏡2の第2焦点、4はインプットレンズ、5はオプティカルインテグレータ(はえの目レンズ)、6はアウトプットレンズ、7はコリメーションレンズ、8はレチクル(マスク)、9は均一絞りとしての開口絞り、10は光学系が収差補正されている波長の光だけを通すためのフィルタ、11、12は光路を曲げて装置の高さを低くするコールドミラー、13はランプハウス、14はレンズ、ミラー或いはその組み合わせによりレチクル8上のパターンの像をウェハ上に投影する投影光学系、15はウェ

ハ、16は開口数を決定する絞りである。

【0004】従来の投影露光装置の基本構成は、図23に示した以外にも多数あるが、模式的には図24(a)に示すように、光源1、第1集光光学系18、均一化光学系19、第2集光光学系20、レチクル8、投影光学系14、ウェハ15の順に配列されている。第1集光光学系18は、図23の例で楕円反射鏡2及びインプットレンズ4に相当する部分であり、楕円鏡のほか球面鏡、平面鏡、レンズ等を適当に配置し、光源から出る光束をできるだけ効率良く均一化光学系19に入れる役目を持つ。また、均一化光学系19は図23のオプティカルインテグレータ5に相当する部分であり、その他として光ファイバや多面体プリズム等が使用されることもある。

【0005】第2集光光学系20は、図23のアウトプットレンズ6及びコリメーションレンズ7に相当する部分であり、均一化光学系19の出射光を重畳させ、さらに像面テレセントリック性を確保する。この他、光束が光軸平行に近い個所に図23のフィルタ10に相当するフィルタが挿入され、またコールドミラー11、12に相当する反射鏡も、場所は一義的でないが挿入される。

【0006】このように構成された装置においてレチクル8から光が来る側を見た場合、光の性質は、第2集光光学系20を通して均一化光学系19から出てくる光の性質となり、均一化光学系19の出射側が見掛け上の光源に見える。このため、上記のような構成の場合、一般に均一化光学系19の出射側24を2次光源と称している。レチクル8がウェハ15上に投影されるとき、投影露光パターンの形成特性、即ち解像度や焦点深度等は、投影光学系14の開口数及びレチクル8を照射する光の性状、即ち2次光源24の性状によって決まる。

【0007】図24(b)は同図(a)に示した投影露光装置におけるレチクル照明光線、結像光線に関する説明図である。図24(b)において、投影光学系14は通常内部に開口絞り16を有しており、レチクル8を通った光が通過し得る角度 θ_a を規制すると共に、ウェハ15上に落射する光線の角度 θ を決めている。

【0008】一般に、投影光学系の開口数NAと称しているのは、 $NA = \sin \theta$ で定義される角度であり、投影倍率を $1/m$ とすると、 $\sin \theta_a = \sin \theta / m$ の関係にある。また、この種の装置においては「像面テレセントリック」、即ち像面に落ちる主光線が像面に垂直に構成されるのが普通であり、この「像面テレセントリック」の条件を満たすため、図24(a)の均一化光学系19の出射面、即ち2次光源24の光源面の実像が開口絞り16の位置に結像される。

【0009】このような条件下でレチクル8から第2集光光学系20を通して2次光源面を見た時の立体角をレチクル8に入射する光の範囲としてとらえ、その半角を ϕ とし照明光のコヒーレンシ σ を $\sigma = \sin \phi / \sin \theta_a$ で定義した場合、パターン形成特性はNAと σ で決

定せられるものと考えていた。

【0010】次に、NA及び σ とパターン形成特性との関連について詳細に説明する。NAが大きい程解像度は上がるが、焦点深度が浅くなり、また投影光学系14の収差のため広露光領域の確保が難しくなる。ある程度の露光領域と焦点深度（例えば10mm角、 $\pm 1\mu\text{m}$ ）がないと実際のLSI製造等の用途に使えないため、従来の装置ではNA=0.35程度が限界となっている。一方、 σ 値は主としてパターン断面形状、焦点深度に関係し、断面形状と相関を持って解像度に関与する。 σ 値が小さくなるとパターンの淵が強調されるため、断面形状は側壁が垂直に近づいて良好なパターン形状となるが、細かいパターンでの解像性が悪くなり解像し得る焦点範囲が狭くなる。逆に、 σ 値が大きいと細かいパターンでの解像性、解像し得る焦点範囲が若干良くなるが、パターン断面の側壁傾斜がゆるく、厚いレジストの場合、断面形状は台形ないし三角形となる。

【0011】このため、従来の投影露光装置では、比較的バランスのとれた σ 値として、 $\sigma=0.5\sim 0.7$ に固定設定されており、実験的に $\sigma=0.3$ 等の条件が試みられているにすぎない。 σ 値を設定するには2次光源24の光源面の大きさを決めれば良いため、一般に2次光源24の光源面の直後に σ 値設定用の円形開口絞り9を置いている。

【0012】このような一般的な投影露光装置の焦点深度を向上させる1つの方法として、円形開口絞り9の代わりに特殊な開口パターンを有する特殊絞りをを用いる例が提案されている（浮田と辻内による「顕微鏡対物レンズの研究（第10報）」1957年の機械試験所所報、第11巻、第2号、p9～、）。この中で特徴的なものは、図25(a)に示すフィルタを用いた場合、2つの光透過領域を結ぶ方向とは垂直方向に並べられたL/Sパターンに対して極めて高い解像性能を有することが記述されていることである。

【0013】一方、この変形例として、図25(b)に示すように4つの開口を有するフィルタ（以下、4つ目フィルタと称する）が提案されており（特公昭56-9010号公報）、この形の4つ目フィルタを用いた投影露光は、1991年10月の第52回応用物理学会学術講演会において、加門、宮本他により「変形光源を用いた縮小投影露光法(I),(II)」(講演番号12a-ZF-3及び12a-ZF-4)と題して発表された。これによれば、L/Sに対する高い解像性能は一方のみではなく、それに直角な方向も合わせて得られることが示されている。

【0014】図26は、この4つ目フィルタで照明した場合と、通常照明の場合の転写特性をシミュレーションした結果を示している。横軸はラインとスペースの比率が1:1のL/Sパターンサイズ、縦軸は焦点深度(DOF)を示している。露光波長は365nm(i線)、投影光学系のNAは0.55である。また、像コントラ

スト70%以上で解像できるレジストを想定している。このようなL/Sパターンにおいては、 $L/S < 0.65\mu\text{m}$ 、特に $L/S = 0.4\mu\text{m}$ 付近では、通常照明に比べて4つ目照明による解像度、焦点深度向上効果が著しい。しかしながら、 $L/S \geq 0.65\mu\text{m}$ では逆に通常照明の場合の焦点深度の方が4つ目照明に比べて大きくなってしまう。

【0015】特に、 $L/S = 0.7\mu\text{m}$ 付近での焦点深度が最も悪くなっている。この特性は4つ目フィルタの目の位置、大きさに依存する。目の間隔が離れるほど小さなL/Sの焦点深度が向上する一方で大きなL/Sでの焦点深度の低下が著しくなるという傾向が顕著となる。また、目が小さい程特定サイズのL/Sパターンの焦点深度のみが向上するような傾向を示す。このように4つ目フィルタの目の位置、大きさによって多少の差異はあるが、全体的な傾向は図26に示す通りである。

【0016】また、上記の説明はL/Sパターンに関してであるが、孤立抜きパターン形成時（ポジレジスト使用時）においては、4つ目フィルタはむしろ逆効果であり、DOFが減少することが分かった。焦点深度1.5 μm を確保できる最小抜き線幅は、通常露光では0.4 μm であるのに対して、4つ目照明による露光では0.45 μm となってしまった。つまり、4つ目照明による露光を行う場合には、1:1のL/Sパターンは0.29 μm で設計できるのに対し、孤立抜きパターンは0.45 μm 以上で設計する必要があることを意味している。実際のLSIパターンにおいては、抜き線幅がデザインルールに近く、両側が数 μm に渡ってレジストであるような典型的な孤立抜きパターンは少ないものの、ラインに対してスペースの比率が小さいパターンは非常に多い。このような所謂孤立抜きパターンの場合、焦点深度1.5 μm 以上を確保できる線幅が大きくなり、チップのシュリンクに大きな影響を与える。

【0017】また、4つ目フィルタを用いた4つ目露光では、相互に直交する2方向以外に配置されたパターンに対しては良好な解像性能が得られず、特に45度方向に配置されたパターンについては解像性能の低下が著しいことが分かった。図26に示す特性は、4つ目フィルタとL/Sの方向とが図27に示すような関係の場合である。4つ目フィルタとL/Sの方向とが図28のような関係、即ちL/Sに対して45度の方向性を有する場合は、図29に示すようなような結果が得られる。この場合は、4つ目照明での転写は通常照明に比べて焦点深度が悪くなってしまった。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、通常の円形2次光源による露光に比べて4つ目フィルタを用いた露光では、 $L/S < 0.65\mu\text{m}$ では解像度、焦点深度向上効果が著しい。しかしながら、 $L/S \geq 0.65\mu\text{m}$ では逆に通常照明の場合の焦点深度の方が4つ目

照明に比べて大きくなってしまふ。特に、 $L/S=0.7\mu\text{m}$ 付近では焦点深度が $1.5\mu\text{m}$ 程度となってしまう。このため、大きな焦点深度が必要な層を転写する際には $L/S=0.7\mu\text{m}$ 付近のパターンが良好に転写されない。つまり、 $L/S=0.4\mu\text{m}$ 付近では $2.5\mu\text{m}$ 程度の焦点深度を有しているのにも拘らず、より大きなサイズのパターンによって転写特性が律速してしまう問題がある。

【0019】また、4つ目フィルタのように特定の4箇所でのみ光を透過するフィルタを照明フィルタとして用いると、パターンの方向によって解像性能に大きな差異が生じるという問題があった。

【0020】また、上記従来例では L/S の焦点深度及び解像力は向上するが、その一方で孤立抜きパターンにおいては焦点深度及び解像力が減少する。このことは、パターンのスペース幅に対するライン幅が広い程、太い線幅で設計する必要があることを示している。実際のLSIパターンでは、スペースに対するライン幅が広いパターンは数多く存在するため、4つ目照明による大幅な焦点深度増大効果をチップサイズのシュリンクに結び付けることができない。

【0021】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、 L/S パターンのサイズが大きい場合にあっては焦点深度を十分大きくすることができ、露光精度の向上をはかり得る投影露光装置を提供することにある。また、本発明の他の目的は、パターンの方向によらず、焦点深度を十分大きくすることのできる投影露光装置を提供することにある。

【0022】また、本発明の別の目的は、孤立抜きパターン又はスペース幅に対してライン幅が広い孤立抜きのパターンを抜き線幅をより細かく設計することができ、その結果、チップサイズの大幅なシュリンクを達成する投影露光装置を提供することにある。

【0023】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明では、次のような構成を採用している。

【0024】即ち本発明（請求項1～3）は、マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、マスクを照明する光源として、該光源の射出面内強度分布を光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とせしめる特殊絞りを設け、マスクとしてハーフトーンマスク、自己整合型位相シフトマスク又はシフターエッジ型位相シフトマスクを用いた特徴とする。ここで、ハーフトーンマスクとは、透光性基板上に半透明膜のパターンが形成され、該半透明膜を通過する光の透光性基板を通過する光に対する位相差が、

$180 \times (2n+1) \pm 30$ （度）：nは整数、
の関係を満たし、且つ半透明膜の振幅透過率Tが透光性基板の振幅透過率 T_0 に対して、

$0.01 \times T_0 \leq T \leq 0.30 \times T_0$

を満たすものである。

【0025】自己整合型位相シフトマスクとは、透光性基板上に遮光性膜によってパターンが形成され、該遮光膜によるパターンの周囲又は周囲を除く部分に透光性膜を配設し、該透光性膜を通過する光の透光性基板を通過する光に対する位相差が、

$180 \times (2n+1) \pm 30$ （度）：nは整数、

の関係を満たすものである。

【0026】シフターエッジ型位相シフトマスクとは、透光性基板上に透光性膜によって少なくとも一部にパターンが形成され、該透光膜によるパターンを通過する光の透光性基板を通過する光に対する位相差が、

$180 \times (2n+1) \pm 30$ （度）：nは整数、

の関係を満たすものである。

【0027】また、本発明（請求項4）は、マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、マスクを照明する光源として、該光源の射出面内強度分布を光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とせしめる特殊絞りを設け、さらに投影光学系の瞳位置に露光光に対する透光性を有する基板を配置し、該基板の厚さ又は屈折率に分布を持たせたことを特徴とする。

【0028】ここで、投影光学系の瞳位置に配置する基板においては、瞳の周辺部に相当する基板の厚さ又は屈折率を、その他の部分に対して異ならせるのが望ましい。また、上記の構成に加え、前記ハーフトーンマスク、自己整合型位相シフトマスク又はシフターエッジ型位相シフトマスクを用いるのがより望ましい。

【0029】また、本発明（請求項5）は、光源からの光を集光する第1集光光学系と、この第1集光光学系で集光された光を均一化する均一化光学系と、この均一化光学系の出射側の光源面位置に設けられた特殊絞りと、この特殊絞りを介して得られる光を集光してマスクに照射する第2集光光学系と、マスクを透過した光をウェハ上に投影する投影光学系とを具備し、マスクに形成されたパターンをウェハ上に転写する投影露光装置において、特殊絞りの構成として、光軸を中心とする同心円上に略図形の中心があり、光源面内の強度分布を光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とせしめる4箇所の比較的動径方向が広い領域と、これら4つの領域を結合させる比較的動径方向が狭い領域とを有するように構成したことを特徴とする。

【0030】また本発明（請求項6～8）は、マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、マスクを照明する光源として、該光源の射出面内強度分布を光軸に対して4回対称で光軸から外れた4つの領域にて強度大とし、且つ光源の中心部分の強度を大とした特殊絞りを設け、マスクとして、ハーフトーンマスク、自己整合型位相シフトマスク

又はシフターエッジ型位相シフトマスクを用いた特徴とする。

【0031】また本発明（請求項9）は、マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、マスクを照明する光源の強度分布を光軸から外れた1つの領域又は光軸を挟んで対称な2つの領域にて強度大とし、投影光学系の瞳の透過率分布を、該瞳上で光源の強度大となる領域を含む瞳の直径方向に沿って透過率大とし、光源の強度分布と瞳の透過率分布を露光中に光軸を中心として同期回転させることを特徴とする。

【0032】また本発明（請求項10）は、マスクのパターンを投影光学系を介してウェハ上に投影露光する投影露光装置において、マスクを照明する光源の強度分布を、光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とし、投影光学系の瞳の透過率分布を、該瞳上で光源の強度大となる4つの領域からなる矩形の辺方向又は対角線方向に透過率大とし、光源の強度分布と瞳の透過率分布を露光中に光軸を中心として同期回転させることを特徴とする。

【0033】

【作用】本発明（請求項1～3）によれば、光源強度分布として、光軸に対して点対称であり、且つ光軸から外れた4つの領域での強度が大なる照明方法にてパターン転写する場合、ハーフトーンマスク、自己整合型位相シフトマスク、シフターエッジ型位相シフトマスク等を用いることによって、全てのサイズのL/SパターンのDOF向上効果をさらに大きくすることが可能である。光源として単に4つ目フィルタを用いたのでは通常のCrマスクを用いた場合と同様、大きいL/Sパターンの焦点深度が小さいL/Sに比べて相対的に小さくなってしまいう傾向があるが、上記各種位相シフトマスクを用いたことによって絶対値としての焦点深度を向上させることができる。

【0034】また、本発明（請求項4）によれば、光源として4つ目フィルタを用いると共に、投影光学系の瞳位置に露光光に対して透光性を有する基板を配置し、該瞳の周辺部に相当する基板の厚さ又は屈折率をその他の部分に対して異ならせることによって、パターンサイズに依存せず大きな焦点深度、限界解像力向上効果を得ることができる。これに加え、マスクにハーフトーンマスクや位相シフトマスクを用いことにより、上記効果をより大きくすることが可能である。

【0035】また、本発明（請求項5）によれば、光源としての特殊絞りが、輪帯照明フィルタと4つ目照明フィルタとの2種類のフィルタの構成を兼ね備えており、その結果、両者の欠点打ち消し合い、パターンサイズと方向の依存性を実用上問題のないレベルまで低下させることができ、高い解像性能と焦点深度向上効果が得られる。

【0036】また、本発明（請求項6～8）によれば、前述した請求項1～3のように光源強度分布として、光軸に対して点対称且つ光軸から外れた4つの領域での強度が大なる照明方法にて転写する場合のL/Sパターンの焦点深度、限界解像力向上効果に加え、光源の中心付近の光源強度を大きくすることによって、孤立抜きパターンに対する焦点深度、解像力をも向上させることができる。その結果、チップサイズ的大幅なシュリンクを達成することが可能となる。

【0037】また、本発明（請求項9、10）によれば、露光装置の光源位置に光軸から偏心した位置にアパーチャを有するフィルタを配設して、マスクを斜めから照明する照明光学系とせしめることによって、偏心方向と直角な方向の長いL/Sパターンの高次回折光が投影光学系に入り、解像力が向上する。ここで、実際のLSIは様々な方向性を有しているために、上記方向以外のパターンより発生する高次回折光が瞳に入らず解像性が向上しない。従って、該フィルタの偏心方向を長手方向に合わせたスリットを瞳位置に配設するによって、上記方向以外のパターンより発生する回折光を積極的にカットする。さらに、該スリットと該フィルタを光軸を回転軸として360度同期回転しながら露光することによって、解像力のパターン方向性依存性を解消することができる。

【0038】また、光源位置に配設するフィルタとして、光軸から偏心し且つ光軸に対して互いに対称なる位置に1つずつ計2個のアパーチャを有するフィルタを用いることによって、上記露光方法と同じ解像力を有し且つ露光時間を半分にすることが可能である。さらに、光源位置に配設するフィルタとして、光軸に対して4回対称で且つ光軸から外れた4つの領域にて強度大とせしめるフィルタを用い、投影光学系の瞳位置に、例えば井桁状に透過率大とせしめるスリットフィルタを用いることによって、上記露光方法とほぼ同じ解像力を有し、且つ露光時間をさらに短縮することが可能である。

【0039】

【実施例】以下、本発明の詳細を図示の実施例によって説明する。

【0040】図1は本発明の第1の実施例に係わる投影露光装置を示す概略構成図である。図1において、1はランプ（光源）、2は楕円反射鏡、3は楕円反射鏡2の第2焦点、4はインプットレンズ、5はオブチカルインテグレート、6はアウトプットレンズ、7はコリメーションレンズ、8はレチクル、9'は透過率に分布を有する特殊絞りが、10はフィルタ、11、12はコールドミラー、13はランプハウス、14はレンズ、ミラー或いはその組み合わせによりレチクル8上のパターンの像をウェハ上に投影する投影光学系、15はウェハ、16は開口数を決定する絞りであり瞳と呼ばれている。光路長に分布を有するフィルタである。

【0041】光源のランプ1として水銀灯を使用し、g線436nm、h線405nm、i線365nm等の輝線、又はこれらの波長近辺の連続スペクトルを取り出して用いている。このため、光源のランプ1は高い輝度が必要であるとともに集光効率や照射均一性を考えると点光源に近い方がよい。しかし、実際にはそのような理想的な光源は存在しないため、有限の大きさでしかも強度に分布を持つランプ1を使用せざるを得ず、そのようなランプ1から発せられる光をいかに高効率で、且つ照射均一性の良い光に変換するかが課題となる。

【0042】図1に示した装置では、楕円反射鏡2の第1焦点にランプ1を置き、楕円反射鏡2の第2焦点3付近に一旦光束を集める。そして、第2焦点3とはほぼ焦点位置を共有するインพุットレンズ4により光束をほぼ平行光束に直し、オプティカルインテグレータ5に入れる。オプティカルインテグレータ5は多数の棒状レンズを束ねたもので、はえの目レンズとも称される。このオプティカルインテグレータ5を通すことが照射均一性を高める主因となっており、インพุットレンズ4はオプティカルインテグレータ5を通る光線のケラれを少なくして集光効率を高める役目をなす。

【0043】オプティカルインテグレータ5を出た光は、アウトプットレンズ6及びコリメーションレンズ7によって、オプティカルインテグレータ5の各小レンズから出た光束がレチクル8上に重畳して当たるよう集光される。オプティカルインテグレータ5に入射された光線は場所による強度分布を有するが、オプティカルインテグレータ5の各小レンズから出る光がほぼ等しく重畳される結果、レチクル8上では照射強度がほぼ均一となる。当然のことながらオプティカルインテグレータ5に入射する光の強度分布が均一に近ければ、出射光を重畳させたレチクル8の照度分布はより均一になる。オプティカルインテグレータ5の出射側には、後述する特殊絞り9'が配置され、オプティカルインテグレータ5の出射側寸法を決めている。

【0044】ランプ1として水銀灯を用いて楕円反射鏡2で集光する場合、水銀灯の構造が図1に示すように縦長であり両端が電極となっているため、ランプ1の軸方向の光線を取り出すことができない。そのため、図1に示すように、インพุットレンズ4として凸レンズを使用したのみではオプティカルインテグレータ5の中心部に入る光の強度分布が落ちる場合がある。そこで、インพุットレンズ4とオプティカルインテグレータ5との間に両凸又は片凸片凹の円錐レンズを挿入し、オプティカルインテグレータ5に入る光の強度分布をより一様にする場合もある。

【0045】フィルタ10は光学系が収差補正されている波長の光だけを通すためのものであり、コールドミラー11、12は光路を曲げて装置の高さを低くすると共に、長波長光熱線を透過させてランプハウス13の冷却

可能部分に吸収させる役目を担う。レチクル8を照射した光は投影光学系14を通り、レチクル8上の微細パターンの像がウエハ15上のレジストに投影露光転写される。

【0046】図2は、本実施例装置で用いる特殊絞り9'としての4つ目フィルタ20の開口パターンを示す平面図である。この図において斜線部が遮光部23を示し、4つの円形開口部（光透過部）22が光軸21に対して4回対称であり、且つ光軸からずれた位置にそれぞれ配置されている。また、マスク8としては、後述するハーフトーンマスクを用いた。

【0047】図3には、本実施例における4つ目フィルタでの露光におけるパターンサイズに対するフォーカスマージンを計算した結果を示す。点線が通常照明(σ 値0.6)によって通常のCrマスクを転写した場合、実線が4つ目照明にて通常のCrマスクを用いた場合の露光、一点鎖線が4つ目照明を行って更にハーフトーンマスクを用いた場合（本実施例）の露光である。なお、露光装置のNAは0.55、露光波長は365nmである。

【0048】4つ目照明を行い、更にハーフトーンマスクを用いることによって、全ての線幅での焦点深度が一樣に向上していることが分かる。 $L/S=0.4\mu\text{m}$ 付近での最大の焦点深度を有すること、 $L/S=0.7\mu\text{m}$ 付近で焦点深度が極小となることについては、通常のCrマスクを用いた場合と同じであるが、絶対値としての焦点深度が向上しているために、 L/S サイズの大きなパターンにおいても実用上十分な焦点深度が得られている。

【0049】図4～図6は、本実施例装置で用いるマスク8を説明するための図である。図4(a)にはハーフトーンマスクの典型的な断面構造を示し、図4(b)には光振幅分布を示し、図4(c)には光強度分布を示した。ハーフトーンマスクは透光性基板30（通常は SiO_2 ）上に、露光光に対して半透明（ $1\% \leq$ 振幅透過率 $\leq 30\%$ ）の膜31によってLSIパターンが形成されている。半透明膜31の膜厚は該膜の透過光32の位相が基板透過光33の位相に対して、

$$180 \times (2n+1) \text{度} \pm 30(\%) : n \text{は整数、}$$

【0050】の関係を満たすように制御されている。基板透過光33はウエハ上では回折して広がり図4(b)に示すBのようなプロファイルとなるが、半透明膜31を透過する光32はウエハ上では逆位相となるため（プロファイルA）、干渉して弱め合い像コントラストを向上させる（プロファイルC）。

【0051】また、上記実施例では、4つ目照明フィルタによってハーフトーンマスクを露光すると効果が大きいことを示したが、他の位相シフトマスク、例えばシフターエッジ型位相シフトマスクや自己整合型位相シフトマスクを用いても、同様に大きな効果が生じる。図5に

は、シフターエッジ型位相シフトマスクの典型的な断面構造を示した。シフターエッジ型位相シフトマスクは透光性基板30（通常は SiO_2 ）上に、露光光に対して透明な物質34（ SiO_2 ）によってLSIパターンが形成されている。この透明膜34の膜厚は、透過光35の位相が基板透過光33の位相に対して、

$180 \times (2n+1) \text{度} \pm 30 (\%)$: n は整数、

【0052】の関係を満たすように制御されている。基板透過光33と、透明膜34を透過する光35はウェハ上では逆位相となるため、透明膜34のエッジ部に相当する部分が干渉して弱め合い暗部を形成する。透明膜34の線幅が小さいので2つのエッジ部での暗部が重なり合って1つの暗部を形成する。

【0053】また、図6には、自己整合型位相シフトマスクの典型的な断面構造を示した。自己整合型位相シフトマスクは透光性基板30（通常 SiO_2 ）上に、露光光に対して不透明な物質36（Cr等）によってLSIパターンが形成されている。この不透明膜36の周囲に露光光に対して透明な物質（ SiO_2 等）によって位相シフト37を設ける。この位相シフト37の膜厚は透過光38の位相が基板透過光33の位相に対して、

$180 \times (2n+1) \text{度} \pm 30 (\%)$: n は整数、

【0054】の関係を満たすように制御されている。本実施例では上記のような構造によって上記光学的原理を達成するようにしたが、この構造は本発明を限定するものではなく、上記光学的原理を達成する他のマスク構造でも構わない。

【0055】このように本実施例によれば、光源形状を決定するために図2に示すような4つ目フィルタ20を用い、マスク8として図4～6に示すような各種位相シフトマスクを用いることにより、全てのサイズの L/S パターンのDOF向上効果を大きくすることができる。このため、 L/S パターンのサイズが大きい場合であっても焦点深度を十分大きくすることができ、パターン露光精度の向上をはかることが可能となる。

【0056】次に、本発明の第2の実施例について説明する。この実施例は、4つ目+瞳フィルタを利用したものである。光源形状を決定するための4つ目フィルタは前記図2に示すものと同様であり、これに加えて本実施例では、図1に示す投影光学系14の瞳位置16に図7に示すような位相フィルタ40を配置している。

【0057】図7(a)の位相フィルタは、光軸41に対して回転対称な円盤形であり、直径が瞳直径に相当している。材質は露光光に対して透光性を有するものであり、例えば SiO_2 を用いる。内径 r 、幅 d の輪帯領域42ではそれ以外の領域43よりも t だけ板厚が厚くなっている。即ち、領域42を通過する光の光路長が領域43のそれよりも長くなることを意味している。この光路長の差は光の位相差を生じせしめる。 r 、 d 及び t は焦点深度を向上したい線幅、4つ目フィルタの位置等に

依存して決定される。また、この実施例では図7(a)で示した厚さ分布を有する位相フィルタを用いたが、本発明を限定するものでなく、焦点深度を向上させたい線幅、線種によって、位相フィルタの形状は変わり得る。

【0058】また、図7(b)に示す位相フィルタも前記位相フィルタと同様の効果を生じせしめる。図7

(a)との違いは、内径 r 、幅 d の輪帯領域42ではそれ以外の領域43よりも t だけ板厚が薄くなっていることである。即ち、領域42を通過する光の光路長が領域43のそれよりも短くなっていることを意味している。光路長の差によって生じる光の位相差は 2π を1周期としているため、図7(a)(b)いずれの構造においても、所望の位相差を得ることが可能である。

【0059】図8には、4つの開口部を有する4つ目フィルタ20及び位相フィルタ40を用いた露光におけるパターンサイズに対するフォーカスマージンを計算した結果を示す。点線が通常露光（4つ目フィルタのみによる露光）、実線が通常のCrマスクを用いた場合の本実施例による露光（4つ目フィルタ+瞳フィルタ）で、一点鎖線がハーフトーンマスクを用いた場合の本実施例による露光（4つ目フィルタ+瞳フィルタ+ハーフトーンマスク）である。なお、露光装置のNAは0.55、コヒーレンスファクタ σ は0.6、露光波長 λ は365nmである。

【0060】位相フィルタ40を瞳位置に挿入した場合、 $L/S \geq 0.65 \mu\text{m}$ で焦点深度向上効果が大きくなり、4つ目照明のみで露光した場合の問題点を解決していることが分かる。さらに、図4で示したハーフトーンマスクを用いると、更に効果が大きいことが分かる。また、図5、図6で示した自己整合型マスク、シフターエッジを用いても同様に効果が大きい。また、瞳関数の振幅透過率が100%であるため、スーパーフレックス法の問題の一つ、即ちフィルタが露光光を吸収して熱となり、光学系が熱膨張を起こし、転写精度を劣化させると言う問題は生じない。次に、本発明の第3の実施例について説明する。この実施例は、4つ目+輪帯フィルタを利用したものである。

【0061】本実施例における図1に示す2次光源面の特殊絞り9'の形状は、図9に示すようになっており、51は光軸、52は光透過部、53は遮光部である。これは、光軸を中心とした動径方向に対して広い領域を持った円形光透過部A、B、C、Dが動径方向に対して狭い領域を持ったリング状の光透過部Eによって結ばれている。

【0062】また、図9では全て曲線からなる境界によって構成したが、必ずしも曲線である必要はなく、図10に示す第2の形状を特殊絞り9'としてもよい。さらに、特殊絞り9'の第3の形状は図11に示す形状としても本発明の範囲を逸脱するものではない。図11の形状の特徴は、動径方向に対して広い領域の部分が均一な

幅になっておらず、さらにその接続が断続的になっている点にある。図11ではア〜タまでが光透過部である。

【0063】また更に、上記の図9〜図11に示した実施例の形状において、光透過部52の光透過率は必ずしも100%でなくてもよく、場合によっては、全領域において同一の透過率である必要もない。また、点対称である必然性もない。この実施例において、光透過部52の配置及び占有面積は所望のパターンの解像性能と寸法精度によって適宜変更することが可能である。

【0064】図12、13は、図9に示した特殊フィルタを用いて露光した場合の露光特性を示している。図12は縦横のL/Sパターンに対する特性、図13は斜めL/Sパターンに対する特性を示している。縦軸は、レジストコントラストを70%とした場合の焦点深度、横軸はL/Sのパターンサイズを示している。

【0065】実デバイスパターン転写に必要な焦点深度を1.5 μ mとすると、この必要焦点深度を確保できるL/Sパターンサイズは図12より、従来例で示した4つの開口を有する特殊フィルタを用いた場合に比べて殆ど劣化しない。即ち、従来例の場合は $L/S \geq 0.3 \mu$ mであるのに対して、本実施例では $L/S = 0.32 \mu$ mとなる。

【0066】一方、図13に示す斜めのL/Sパターンでは、従来例による露光によると、必要焦点深度を確保できるパターンサイズは $L/S \geq 0.7 \mu$ mであり、斜めL/Sは非常に太く設計する必要があるのが分かる。これに対して、本実施例による露光では、 $L/S \geq 0.55 \mu$ mで必要焦点深度を確保することができ、通常露光の場合($L/S \geq 0.5 \mu$ m)に比べても遜色がない。つまり、本実施例によると、縦横方向の露光特性は、従来の4つのアパーチャマスクを有する特殊フィルタを用いた場合の優れた解像特性を保ちつつ、斜めL/Sにおいてもそれほど解像特性を劣化させず、斜めL/Sパターンの大幅な設計ルール縮小を可能とした。

【0067】図9の特殊フィルタの円形開口部ABCDの半径、中心位置、リング状領域Eの幅、内径、外径によって図12、13に示す特性が変化する。必要に応じて最適化する必要がある。

【0068】このように本実施例によれば、4つ目+輪帯を有する特殊フィルタの使用により高い解像性能と焦点深度向上効果があり、しかも従来得られなかったパターンサイズと方向に対する効果の依存性を実用上問題のないレベルに低下させる効果がある。また、マスクとして図4〜6に示したハーフトーンマスク、自己整合型マスク、シフトエッジ型マスクを用いると、更に焦点深度増大効果が大きい。

【0069】次に、本発明の第4の実施例について説明する。この実施例は、5つ目フィルタ及び5つ目フィルタにハーフトーンマスクを併用したものである。基本的には第1の実施例と類似しており、2次光源としての5

つ目フィルタ60は、図14に示すようになっており、61は光軸、62は光透過部、63は遮光部である。光軸61に対して4回対称であり且つ光軸から外れた4つの開口部A、B、C、Dに加え、光軸51付近に開口Eを有する。

【0070】このようなフィルタ60を用いて、通常のCrマスク、及びハーフトーンマスクを露光した結果を、図15、16に示す。図15は、ラインとスペースの比率が1:1のL/Sパターンに対する解像度及び焦点深度向上効果を示している。横軸はパターンサイズ、縦軸は焦点深度(DOF)を示している。なお、露光波長は365nm(i-line)、投影光学系のNAは0.55である。

【0071】このようにL/Sパターンにおいては、5つ目照明露光による焦点深度向上効果は、4つ目照明露光に比べて低下する。しかし、焦点深度1.5 μ mを確保できる最小線幅は、4つ目照明露光の場合と殆ど同じであり、チップサイズのシュリンクには何等悪影響を及ぼさない。また、ハーフトーンマスクを用いることによって、焦点深度増大効果を更に大きくすることができる。

【0072】図16は、孤立抜きパターンのパターンサイズに対する焦点深度を計算した結果を示している。4つ目照明によって露光した場合に比べて、5つ目照明露光とすることによって焦点深度が向上していることが分かる。さらに、ハーフトーンマスクを用いることによって、更に焦点深度が向上していることが分かる。焦点深度1.5 μ mを確保できる抜き線幅は、4つ目照明による通常Crマスク露光の場合が0.45 μ mであるのに対し、5つ目照明によるハーフトーンマスク露光では0.41 μ mまで細くすることが可能であることが分かる。また、開口の大きさを最適化することによって、更に焦点深度を向上させることが可能である。

【0073】つまり、5つ目照明露光とすることによって、1:1のL/Sの最小線幅を細く(0.3 μ m程度)設計できるという4つ目照明露光の長所を有したまま、孤立抜きパターンの抜き線幅をより細く設計することが可能となった。この結果、LSIパターン内に数多く存在するスペース幅に対してライン幅が太い所謂孤立抜きのパターンの抜き線幅をより細く設計することが可能となり、チップサイズの大幅なシュリンクを達成することが可能となった。

【0074】なお、本発明は上述した各実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。実施例においては、4つ目照明及び5つ目照明を達成する手段として、図2、図4に示した特殊絞りをを用いたが、本発明を限定するものではなく、他にファイバ等を用いて4つ目照明及び5つ目照明を達成することが可能である。

【0075】次に、本発明の第5の実施例について説明

する。図17は本発明の第5の実施例に係わる投影露光装置を示す概略構成図である。光源71から発生した光は、第1集光光学系72によって集光され、均一化光学系73へと導かれる。均一化光学系73は光ファイバや多面体プリズム等が使用されることもある。均一化光学系73を出た光は結像し2次光源を形成する。この2次光源位置に、光軸から偏心した位置にアパーチャ81を有するフィルタ4（以下、偏心1つ目フィルタと称す）を設置する。露光光はこのアパーチャ81の部分のみを通過し、第2集光光学系75を通してレチクル76を照明する。

【0076】レチクル76を通過した露光光は、投影光学系77によってウェハ79上に達する。投影光学系77内に存在する瞳78は通常は円形開口であるが、本実施例では図示の通り瞳位置にスリット状のフィルタ（以下、瞳スリットフィルタと称す）が設置されている。このスリットの長手方向は、偏心1つ目フィルタ74の偏心方向と同じである。この偏心1つ目フィルタ74と瞳スリットフィルタ78は、前記記載の位置関係を維持したまま、同期回転制御回路80及び図示しないモータ等により同期回転可能である。1回の露光は同期回転制御回路80にて偏心1つ目フィルタ74と瞳スリットフィルタ78を360度回転することによって終了する。

【0077】図18には、本実施例の投影露光装置での露光におけるパターンサイズに対するフォーカスマージンを計算した結果を示す。点線が通常露光（ $\sigma=0.6$ ）、実線が通常のCrマスクを用いた場合の実施例による露光である。なお、露光装置のNA、コヒーレンスファクタ σ 、露光波長 λ はそれぞれ0.55、0.6、365nmである。図18の結果はL/Sの方向には依存しない。従って本実施例は前述した問題点を解決し、L/Sの方向依存性をなくし、しかも通常露光に比べて飛躍的な焦点深度増大を達成していることが分かる。また、アパーチャ81の中心の光軸からの偏心距離を大きくするほど細かいL/Sの焦点深度が向上する。

【0078】このように本実施例によれば、露光装置の2次光源位置に光軸から偏心した位置にアパーチャ81を有するフィルタを配設して、マスク76を斜めから照明する照明光学系とことによって、偏心方向と垂直な方向に長いL/Sパターンの高次回折光が投影光学系77に入り、解像力が向上する。しかも、フィルタの偏心方向を長手方向に合わせたスリットを瞳位置に配設することによって、上記方向以外のパターンより発生する回折光を積極的にカットし、さらにスリットとフィルタを光軸を回転軸として360度同期回転しながら露光することによって、解像力のパターン方向依存性を解消することができる。

【0079】また、本実施例によれば、瞳スリットフィルタ78として、図19に示すように0次回折光を減衰させるための半透明部を設けることによって、さらに解

像度向上がはかれる。図19のように偏心1つ目フィルタ74から出た光は、マスク76を斜めから照明する。

1:1のL/Sパターンの場合、マスク76の透過光は回折して主に±1次回折光、0次回折光に分かれる。0次光は直進して瞳スリットフィルタ78のa点に到達する。また、+1次回折光はb点に達する。−1次回折光は瞳に入らず、結像に関与しない。0次光は+1次回折光に比べて大きいので、半透明膜85によって減衰させることによって、より解像度を上げることが可能である。本実施例では半透明膜85を用いたが、0次光のみを減衰させる手段であればよい。

【0080】図20は本発明の第6の実施例を示す概略構成図である。なお、図17と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。本実施例と第5の実施例とが異なる点は、2次光源に装着する光源フィルタの形状である。

【0081】即ち、本実施例での光源フィルタは光軸を挟んで対象なる位置に2つのアパーチャ81、82を設けている（以下、2つ目フィルタと称す）。本実施例によると、解像特性は第5の実施例と同じであるが、1回の露光が同期回転制御回路80にて2つ目フィルタ74と瞳スリットフィルタ78を180度回転することによって終了することが異なる。第5の実施例のアパーチャ81からの光量と、本実施例での1つのアパーチャからの光量が等しければ、アパーチャが2つになり回転角度が半分になるため、露光時間を半分にすることができる。

【0082】図21は本発明の第7の実施例を示す概略構成図である。なお、図17と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。本実施例と第6の実施例とが異なる点は、2次光源に装着する光源フィルタの形状と瞳位置に装着するフィルタの形状である。

【0083】即ち、本実施例での光源フィルタは光軸に対して4回対称の位置に4つのアパーチャ81、82、83、84を設けている（以下、4つ目フィルタと称す）。また、瞳位置のフィルタは井桁状の開口を有している（以下、瞳井桁フィルタと称す）。なお、瞳位置のフィルタの形状としては、瞳位置における4つ目を接続する開口であればよく、上記の井桁のように4つ目からなる矩形の辺方向に沿って開口を設けたもの、或いは4つ目の対角線方向に開口を設けたもの（この場合は十字型開口となる）であってもよい。

【0084】本実施例によると解像特性は第5の実施例とほぼ同じであるが、1回の露光が同期回転制御回路80にて4つ目フィルタと瞳井桁フィルタを90度回転することによって終了することが異なる。第5の実施例のアパーチャからの光量と、本実施例での1つのアパーチャからの光量が等しければ、アパーチャが4つになり回転角度面1/4になるため、露光時間を1/4にすることができる。

【0085】上記第5～第7の実施例においては、投影光学系の瞳位置にスリット状の或いは井桁状のフィルタを設置するが、このフィルタの透光部分では露光が吸収され熱に変わり、光学系を劣化させ、転写精度に大きく影響を及ぼすという問題が生じる。図22は、特に第5と第6の実施例での上記問題を解決するための瞳フィルタの具体的構成を示している。図は瞳スリットフィルタについての構成図である。91はスリット、92は傾斜を有したミラーである。露光が上から該瞳スリットフィルタに入射すると、傾斜したミラー92に入射した露光は吸収されることなく反射される。反射された露光は光学系の外へ導かれ、光学系の外に配設された吸収体によって吸収される。従って、露光は光学系の中で熱に変わることがないので転写精度を劣化させることもない。

【0086】また、第5～第7の実施例において、マスクとしてハーフトーン位相シフトマスクを適用することによって、さらに焦点深度及び解像力を向上させることが可能となる。図18の1点鎖線が上記3つの実施例に加えハーフトーンマスクを用いて転写した場合の転写特性を示している。通常のCrマスクを用いた場合に比べて焦点深度が向上していることが分かる。

【0087】また、上記の例では、4つ目照明フィルタと位相フィルタによってハーフトーンマスクを露光すると効果が大きいことを示したが、他の位相シフトマスク、例えばシフトエッジ型位相シフトマスク、自己整合型位相シフトマスクを用いても同様に大きな効果が得られる。さらに、上記光学的原理を達成する他のマスク構造でも構わない。

【0088】また、第5～第7の実施例では、2次光源の形状を決定するために光軸から偏心した少なくとも1つのアパーチャを有するフィルタを用いたが、本発明を限定するものではなく、ファイバ等の他の方法を用いてもよい。

【0089】

【発明の効果】以上詳述したように本発明（請求項1～3）によれば、2次光源として4つ目フィルタを用い、且つマスクとしてハーフトーンマスク、自己整合型位相シフトマスク、シフトエッジ型位相シフトマスク等を用いることによって、L/Sパターンのサイズが大きい場合にあって焦点深度を十分大きくすることができ、露光精度の向上をはかることができる。

【0090】また、本発明（請求項4）によれば、2次光源として4つ目フィルタを用いると共に、投影光学系の瞳位置に位相フィルタを配置することによって、パターンサイズに依存せず大きな焦点深度、限界解像力向上効果を得ることができる。これに加え、マスクにハーフトーンマスクや位相シフトマスクを用いことにより、上記効果をより大きくすることが可能である。

【0091】また、本発明（請求項5）によれば、2次

光源として、輪帯照明フィルタと4つ目照明フィルタとの2種類のフィルタの構成を兼ね備えた特殊絞りをを用いることにより、パターンサイズと方向の依存性を実用上問題のないレベルまで低下させることができ、高い解像性能と焦点深度向上効果が得られる。

【0092】また、本発明（請求項6～8）によれば、前述した請求項1～3のように2次光源として4つ目フィルタを用いて露光する場合のL/Sパターンの焦点深度、限界解像力向上効果に加え、2次光源の中心付近の光源強度を大きくすることによって、孤立抜きパターンに対する焦点深度、解像力をも向上させることができる。その結果、チップサイズ的大幅なシュリンクを達成することが可能となる。また、本発明（請求項9、10）によれば、偏心したアパーチャを有する2次光源と瞳フィルタを同期回転することにより、パターンの方向によらず、焦点深度を十分大きくすることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係わる投影露光装置を示す概略構成図、

【図2】第1の実施例における4つ目フィルタの構成を示す平面図、

【図3】第1の実施例におけるL/SサイズとDOFとの関係を示す特性図、

【図4】ハーフトーンマスクの典型的な断面構造を示す図、

【図5】シフトエッジ型位相シフトマスクの典型的な断面構造を示す図、

【図6】自己整合型位相シフトマスクの典型的な断面構造を示す図、

【図7】第2の実施例に用いた位相フィルタの概略構成を示す斜視図、

【図8】第2の実施例におけるL/SサイズとDOFとの関係を示す特性図、

【図9】第3の実施例に用いた輪帯を有する4つ目フィルタの構成を示す図、

【図10】輪帯を有する4つ目フィルタの別の例を示す図、

【図11】仮想的な輪帯を有する4つ目フィルタの構成を示す図、

【図12】第3の実施例における縦横L/SサイズとDOFとの関係を示す特性図、

【図13】第3の実施例における斜めL/SサイズとDOFとの関係を示す特性図、

【図14】第4の実施例に用いた5つ目フィルタの構成を示す図、

【図15】第4の実施例におけるL/SサイズとDOFとの関係を示す特性図、

【図16】第4の実施例における抜きパターンサイズとDOFとの関係を示す特性図、

【図17】第5の実施例に係わる投影露光装置を示す概略構成図、

【図18】第5の本実施例におけるL/SサイズとDOFとの関係を示す特性図、

【図19】第5の実施例の作用を説明するための模式図、

【図20】第6の実施例に係わる投影露光装置を示す概略構成図、

【図21】第7の実施例に係わる投影露光装置を示す概略構成図、

【図22】発熱を抑えた瞳フィルタの具体的構成例を示す斜視図、

【図23】従来の投影露光装置を示す概略構成図、

【図24】従来装置の問題点を説明するための図、

【図25】開口絞りの代わりに用いるフィルタの例を示す図、

【図26】従来装置におけるパターンサイズと焦点深度との関係を示す特性図、

【図27】4つ目フィルタとL/Sの方向との関係を示す図、

【図28】4つ目フィルタとL/Sの方向との関係を示

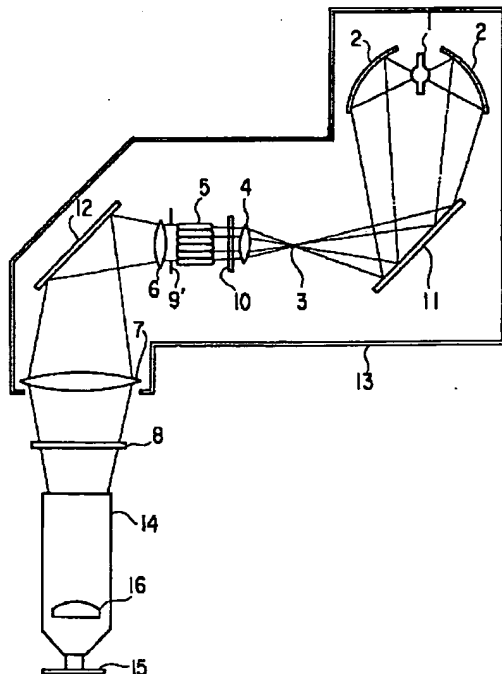
す図、

【図29】L/Sに対して45度の方向性を有する場合のパターンサイズと焦点深度との関係を示す特性図、

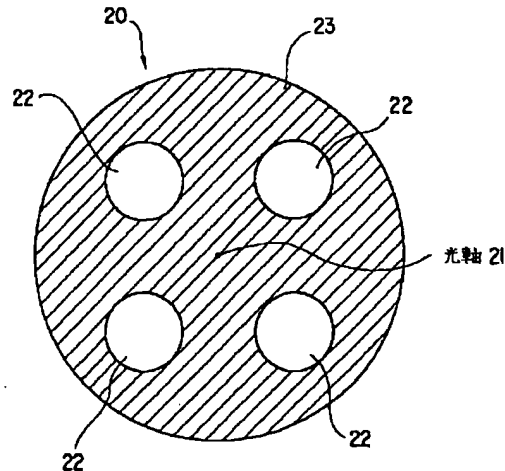
【符号の説明】

1…ランプ、2…楕円反射鏡、3…楕円反射鏡2の第2焦点、4…インプットレンズ、5…オプティカルインテグレータ、6…アウトプットレンズ、7…コリメーションレンズ、8…レチクル(マスク)、9'…特殊絞り、10…フィルタ、11、12…コールドミラー、13…ランプハウス、14…投影光学系、15…ウエハ、16'…フィルタ、20…4つ目フィルタ、21、51、61…光軸、22、52、62…光透過部、23、53、63…遮光部、30…透光性基板、31…半透明膜、34…透明膜、36…不透明膜、37…位相シフト、40…位相フィルタ(瞳フィルタ)、50…輪帯を有する4つ目フィルタ、60…5つ目フィルタ。

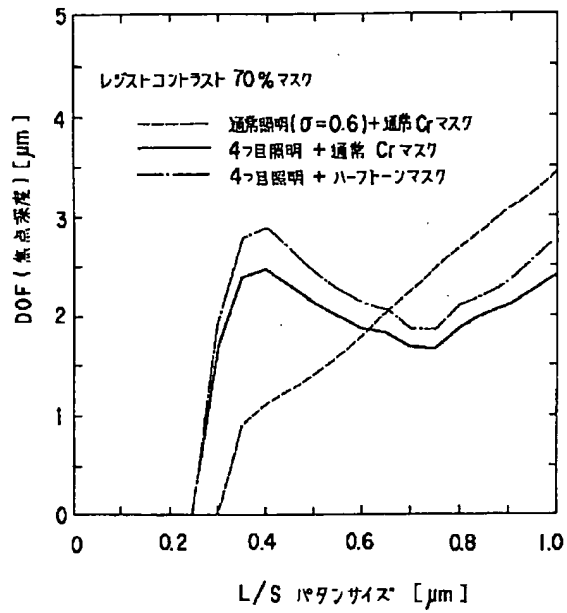
【図1】



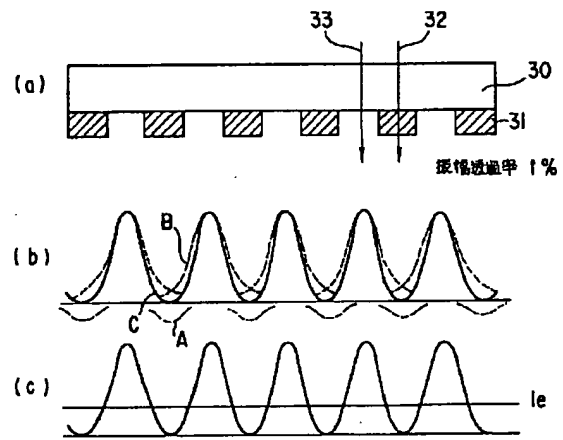
【図2】



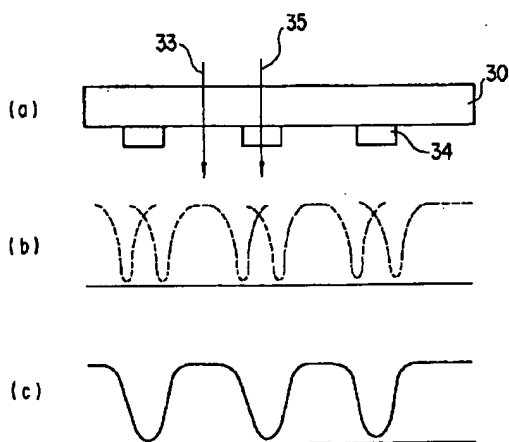
【図3】



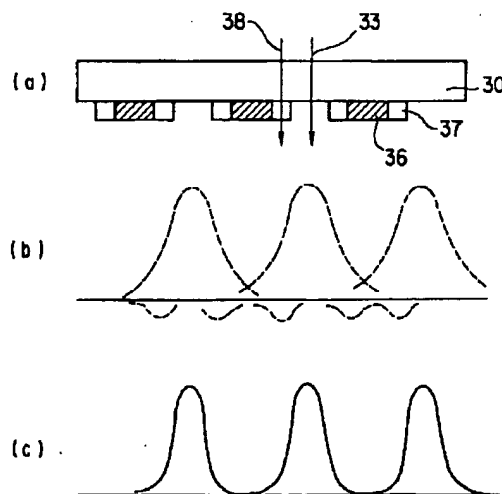
【図4】



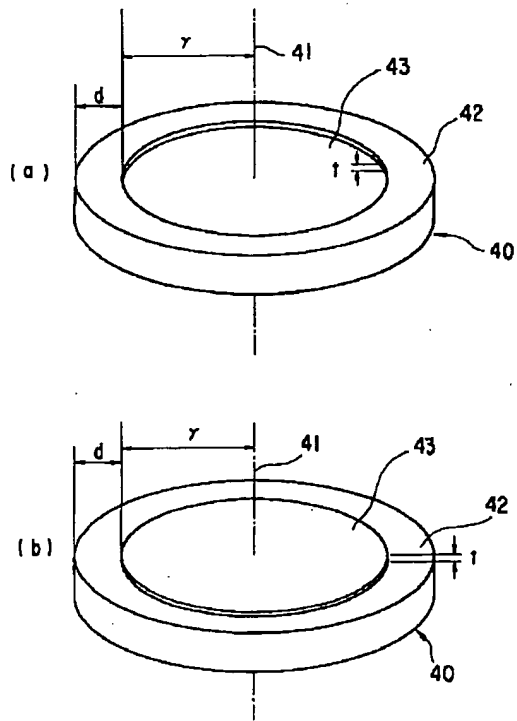
【図5】



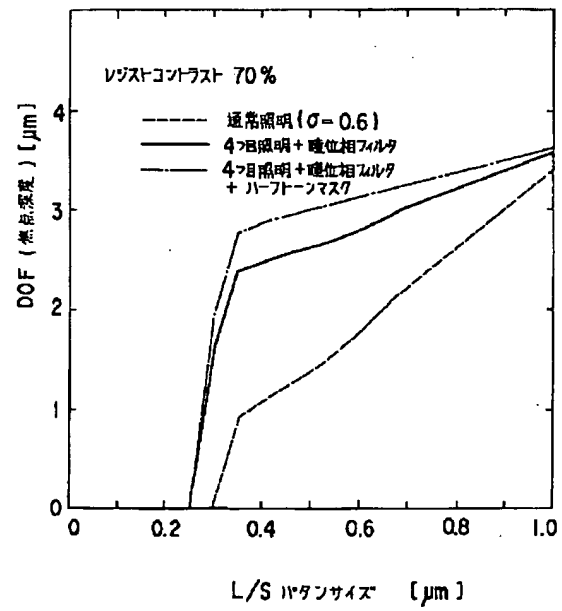
【図6】



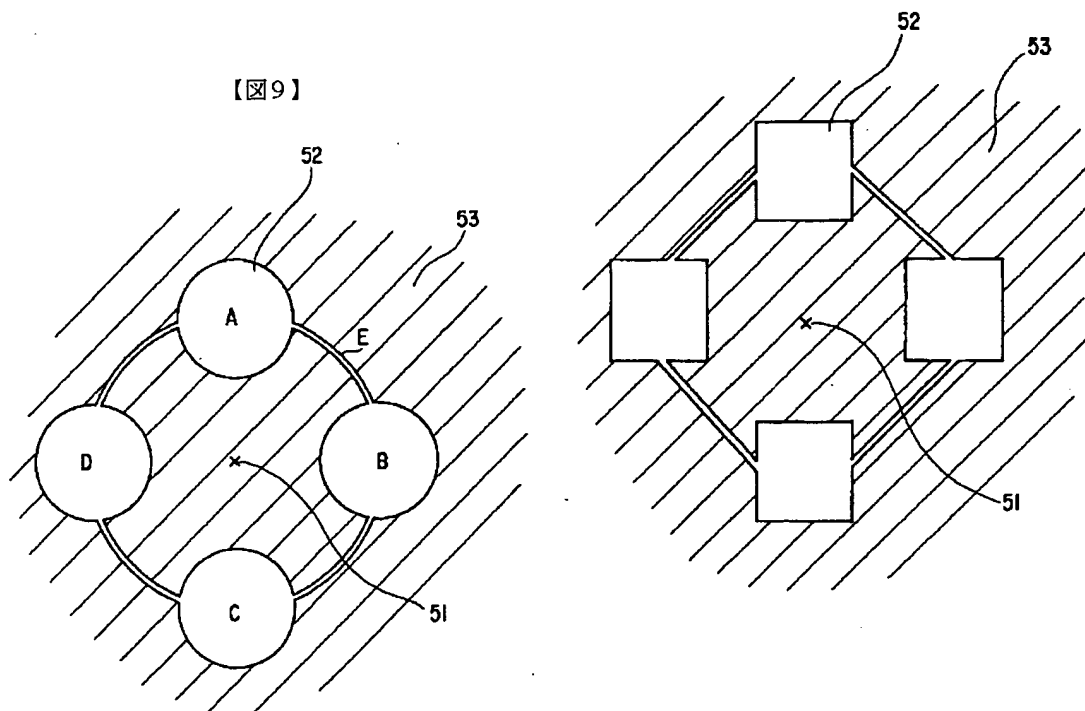
【図7】



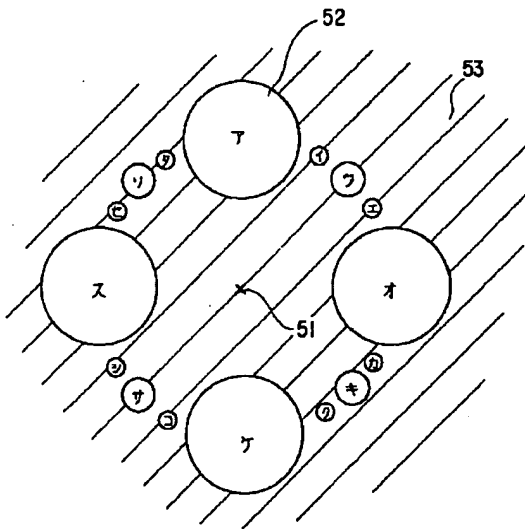
【図8】



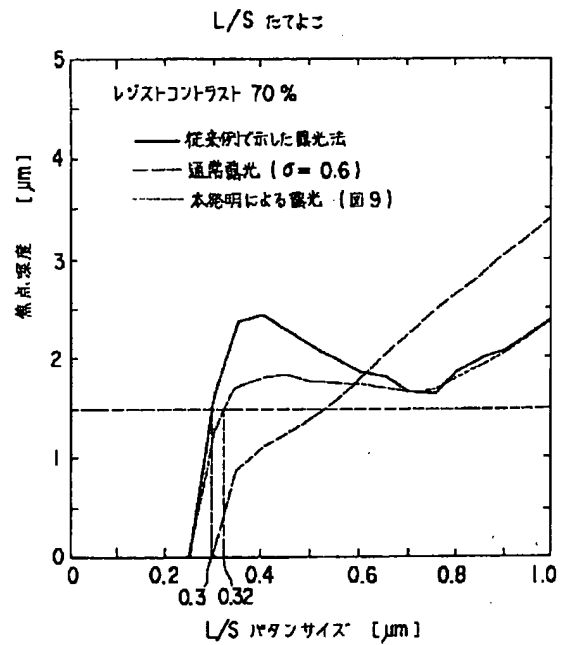
【図10】



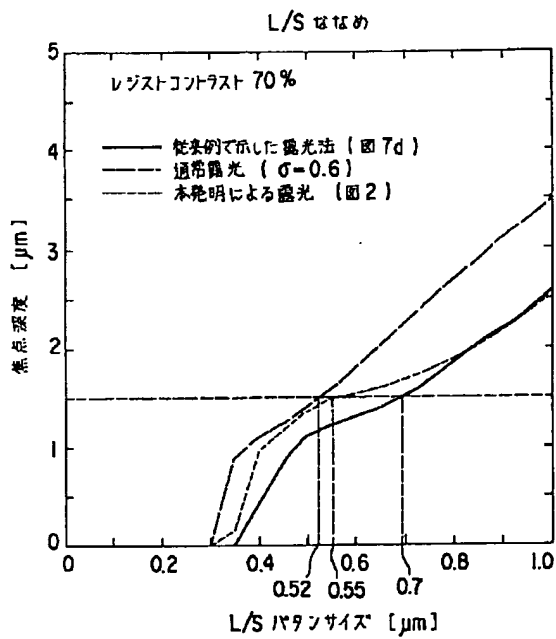
【図11】



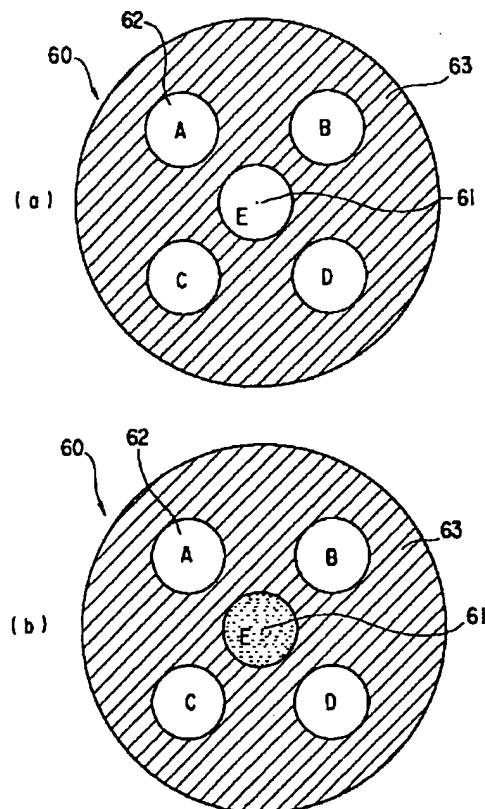
【図12】



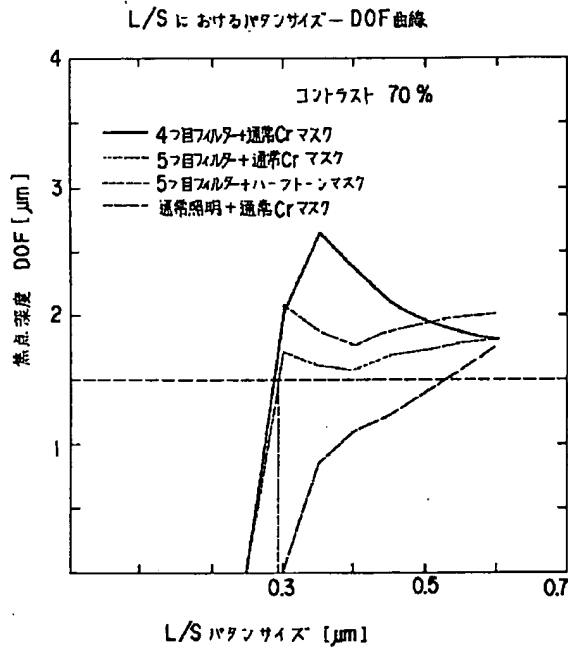
【図13】



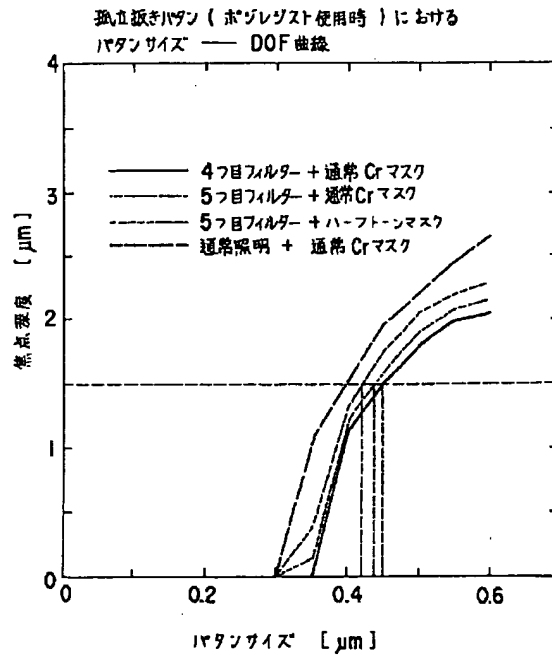
【図14】



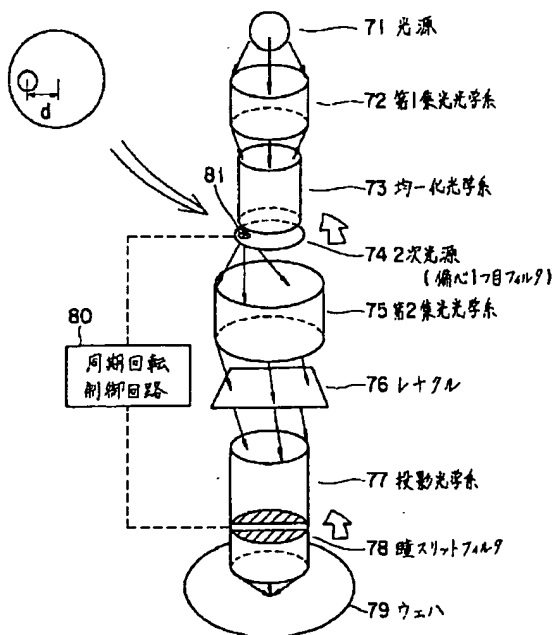
【図15】



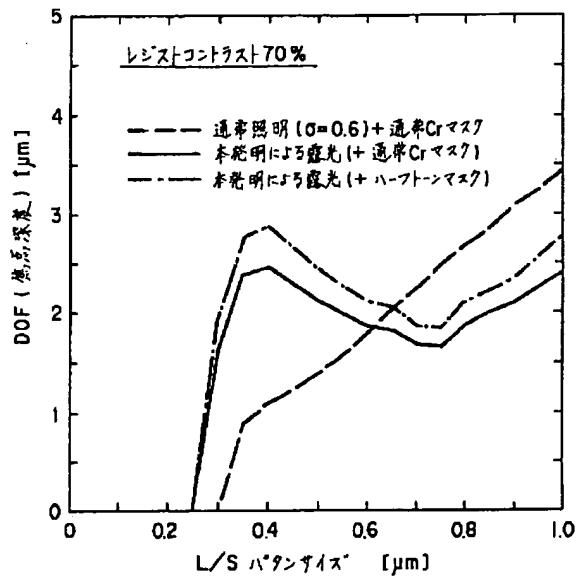
【図16】



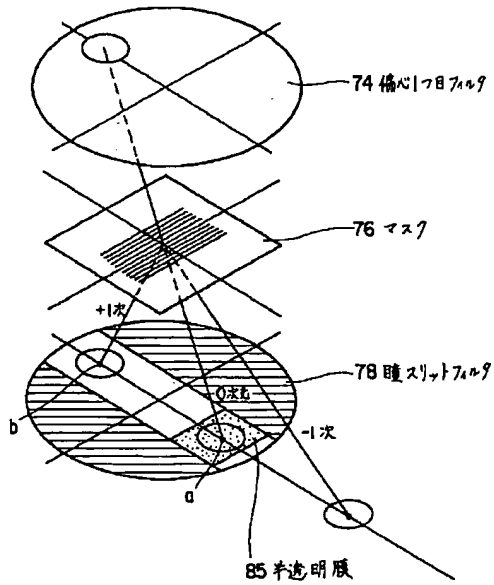
【図17】



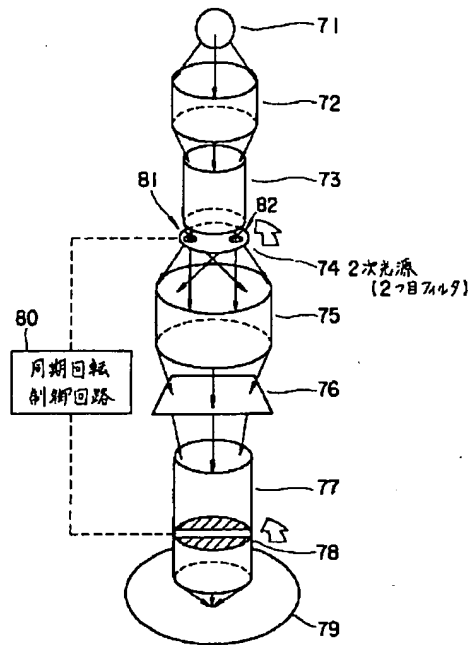
【図18】



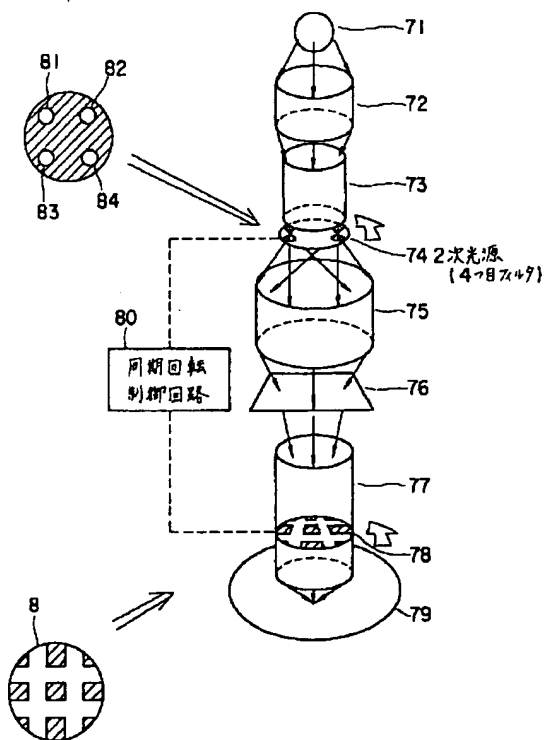
【図19】



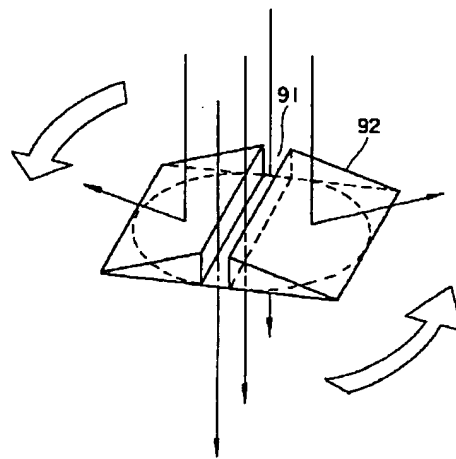
【図20】



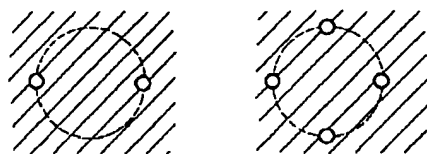
【図21】



【図22】



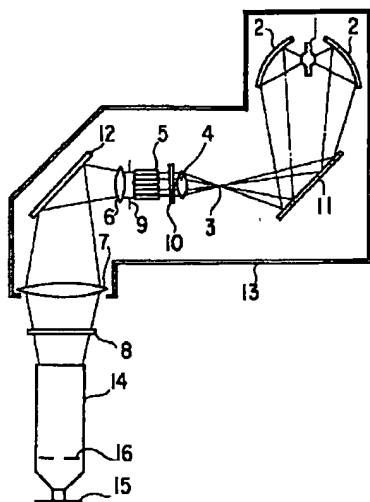
【図25】



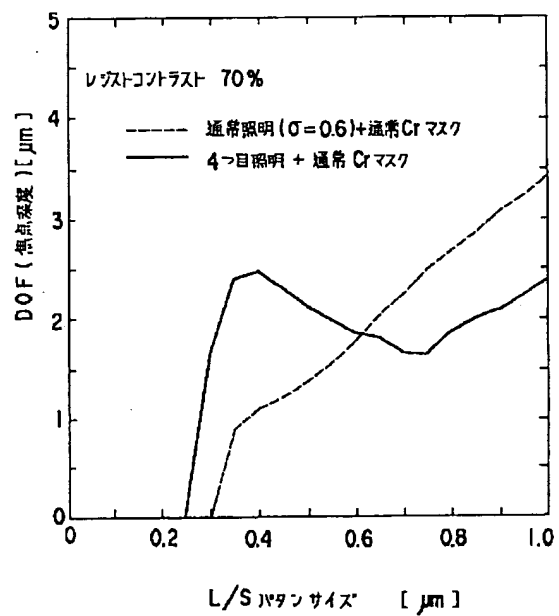
(a)

(b)

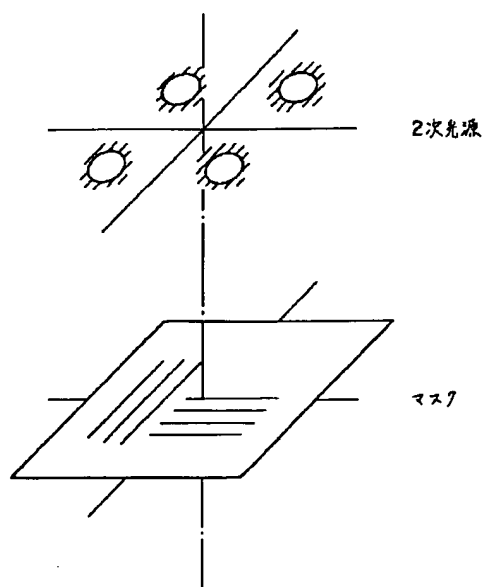
【図23】



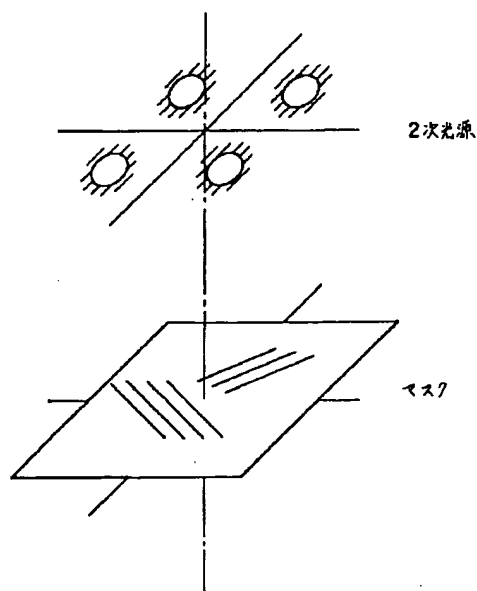
【図26】



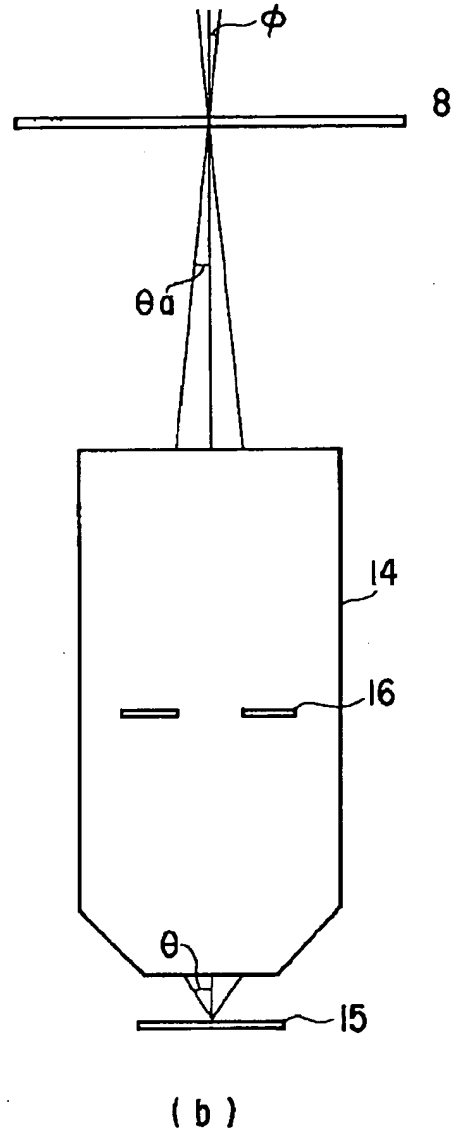
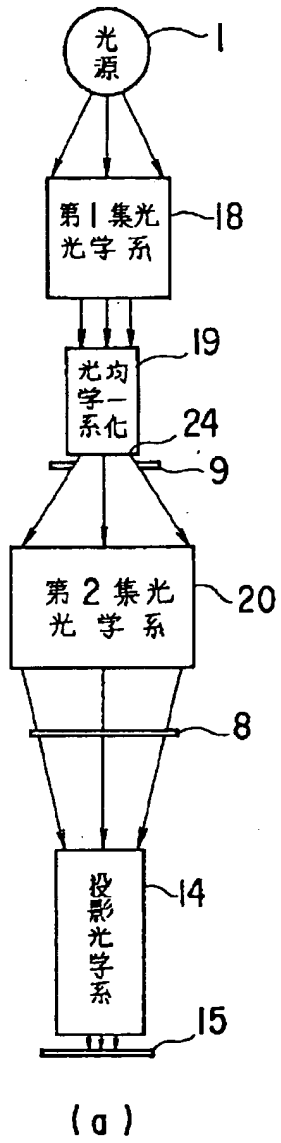
【図27】



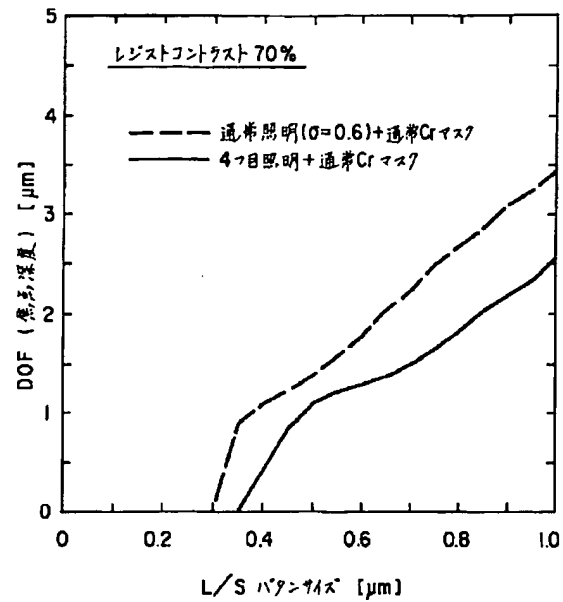
【図28】



【図24】



【図29】



フロントページの続き

(72)発明者 玉虫 秀一
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝総合研究所内

(72)発明者 堀岡 啓治
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝総合研究所内